

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет електроніки

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра мікроелектроніки

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

“ ” _____ 20__ р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра**

зі спеціальності _____
(код і назва)

на тему: _____ Плазмон-поляритонний фотовольтаїчний сенсор _____
_____ до ацетону в газових сумішах _____

Виконав (-ла): студент (-ка) 6 курсу, групи ДП – 71 мп
(шифр групи)

_____ Ожоженко Олексій Олександрович _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Науковий керівник доц., к.т.н., с.н.с. Івашук А.В. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Консультант з нормоконтролю доц., доц.к.т.н. Орлов А.Т. _____

Консультант з інформаційних питань ст. викл., к.т.н. Діденко Ю.В. _____

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2018 року

РЕФЕРАТ

Дипломну роботу викладено на 85 сторінках, вона містить 4 розділи, 35 ілюстрацій, 30 таблиць, 6 додатків та 20 джерел в переліку посилань.

Об'єктом розгляду є сенсорна система для нового класу сенсорів на основі поверхневого плазмонного резонансу (ППР) для вимірювання концентрації ацетону, принцип дії та потенційні можливості використання, а також алгоритм проведення вимірювань таким приладом.

Метою роботи є розробка сенсорної системи, для вимірювання концентрації ацетону в газових сумішах, а також розробка алгоритму роботи такої системи і алгоритму роботи програмного забезпечення для ком'ютера.

У першому розділі наведені теоретичні відомості про поверхневий плазмонний резонанс, методи його збудження та використання, а також про ацетон, його вплив на організм людини і методики вимірювань концентрації ацетону. У другому розділі представлена методика проектування даної сенсорної системи, алгоритми роботи мікроконтролера та програмного забезпечення. У третьому розділі наведені результати вимірювань та їх обробка. У четвертому розділі сформована ідея стартап-проекту, а також висвітлені конкурентні переваги та недоліки такого пристрою як цілісного продукту на ринку.

Ключові слова: поверхневий плазмонний резонанс, мікроконтролер, аналогово-цифровий перетворювач, ацетон, операційний підсилювач, друкована плата, програмне забезпечення.

ABSTRACT

Thesis posted on 85 pages, it contains chapters 4, 35 illustrations, 30 tables, 6 applications and 20 sources in the list of references.

The subject of consideration is the sensory system for a new class of sensors based on surface plasmon resonance (SPR) to measure the concentration of acetone, their principle of action and potential uses, and also the methodology for conducting measurements by such a device.

The purpose of the work is to develop a sensor system for measuring the concentration of acetone in gas mixtures, as well as the development of an algorithm for such a system and the algorithm of software work for the computer.

The first section presents theoretical information on surface plasmon resonance, methods of its excitation and use, as well as about acetone, its influence on the human body and methods of measuring the concentration of acetone. The second section provides a method for designing this sensor system, algorithms for microcontroller and software. The third section shows the results of measurements and their processing. The fourth section is formed idea startup project and highlighted the competitive advantages and disadvantages of such a device as an integral product in the market.

Key words: surface plasmon resonance, microcontroller, analog-digital converter, acetone, operational amplifier, printed circuit board, software.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	6
ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1: ТЕОРИТИЧНІ ВІДОМОСТІ	8
1.1. Явище ППР та методи збудження	8
1.2. Актуальність використання ППР-сенсорів.....	26
1.3. Ацетон, методи його визначення. Актуальність медичних сенсорів для ацетону	29
Висновки до розділу 1	
РОЗДІЛ 2: РОЗРОБКА СЕНСОРНОЇ СИСТЕМИ	38
2.1. Розробка принципової схеми сенсорної системи.....	38
2.2. Симуляція роботи приладу в ПЗ Proteus	41
2.3. Проектування виготовлення друкованої плати.....	42
2.4. Алгоритм роботи системи.....	45
Висновки до розділу 2	
РОЗДІЛ 3: ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ АЦЕТОНУ	49
3.1. Калібрування пристрою.....	49
3.2. Вимірювання концентрації ацетону в газових сумішах та обробка результатів	49
Висновки до розділу 3	
РОЗДІЛ 4: РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ.....	56
4.1. Опис ідеї проекту.....	56
4.2. Технологічний аудит ідеї проекту	57
4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	58
4.4. Розроблення ринкової стратегії проекту.....	62
4.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	63
ВИСНОВКИ.....	66
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	68

Додаток 1	
Схема електрична принципова.....	70
Додаток 2	
Друкована плата верхній шар.....	71
Додаток 3	
Друкована плата нижній шар	72
Додаток 4	
Лістинг програми для мікроконтролера.....	73
Додаток 5	
Лістинг програми для ПК.....	77
Додаток 6	
Специфікація	84

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ

ППР – поверхневий плазмонний резонанс

ТМ – поперечна магнітна хвиля (поперечна мода)

ППВВ – порушене повне внутрішнє відбивання

ДНК – дезоксирибонуклеїнова кислота

РНК – рибонуклеїнова кислота

КРС – комбінаційне розсіювання світла

ДШ – діод Шотткі

PSA – prostate-specific antigen (простат-специфічний антиген)

АЦП – аналого-цифровий перетворювач

ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач

ДМФ – диметилфталат

ДБФ – дибутилфталат

°/К – кутовий градус/Кельвін

ОП – операційний підсилювач

СД – синхронний детектор

МК – мікроконтролер

ШИМ – широтно-імпульсна модуляція

САПР – системи автоматизації проектувальних робіт

ЧПУ – числове програмне управління

ПК – портативний комп'ютер

ІСР – інтегроване середовище розробки

Н/П - напівпровідник

ВСТУП

Сучасний технологічний прогрес являє собою «павутину». Його характерною рисою є взаємозв'язок між галузями науки і техніки. Будь-яке відкриття, будь-яка зміна в технології тягне за собою структурну зміну в інших областях. Так і відбувається в сенсориці, при винайдені нового сенсору, в кінцевому результаті ми отримуємо зміни в медицині, промисловості та інших сферах. Пристрої які працюють на явищі плазмонного резонансу, є дуже перспективними оскільки, вони можуть мати дуже широкий спектр використання. Плазмонний резонанс може використовуватись як в оптичних процесорах, що дає значний приріст в характеристиках обчислювальних машин, так і в більш простому, але не менш важливому застосуванні для газових сенсорів, які можуть точно і швидко провести скринінг газової суміші. На таких «малих» комірках (ППР-сенсорів селективних до конкретного газу) можна побудувати матрицю мультисенсора, який зможе визначити склад суміші з високою точністю визначення концентрації її складових.

Для медицини розробка такого мультисенсора має дуже велике значення, оскільки методика проведення аналізів таким неінвазивним мультисенсором дозволить економити час, підвищити точність аналізів, а також зменшити вартість обстежень. Визначення концентрації ацетону в суміші є складовою, яка повинна бути в такому сенсорі, оскільки зміна концентрації ацетону в організмі людини є одним із індикаторів серйозних порушень в роботі організму.

РОЗДІЛ 1: ТЕОРИТИЧНІ ВІДОМОСТІ

1.1. Явище ППР та методи збудження

Як відомо, в металах є велика кількість електронів провідності, які можуть вільно рухатись в усьому об'ємі [1,2]. Саме тому металам властива висока електропровідність. Від'ємний електричний заряд електронів точно скомпенсований додатнім зарядом ядер. І в цілому метал, в стані рівноваги і у всіх своїх частинах, залишається електрично нейтральним.

Електрони провідності утворюють в об'ємі метала «електронний газ», який частіше всього називають «електронною плазмою». Електронну плазму характеризують рівноважною концентрацією електронів провідності n , тобто числом електронів на одиницю об'єму в стані рівноваги, і функцією розподілу електронів за швидкостями і координатами $F(\vec{v}, \vec{r}, t)$. Її фізичний сенс такий: величина $dn = F(\vec{v}, \vec{r}, t) d\vec{v} dV(\vec{r})$ - це число електронів, локалізованих в момент часу t в околі точки з координатами $\vec{r}(x, y, z)$ в об'ємі $dV(\vec{r}) = dx dy dz$ і маючих швидкість від \vec{v} до $\vec{v} + d\vec{v}$. В умовах рівноваги функція розподілення електронів не залежить від координат і часу, і вільні електрони розподіленні тільки за швидкостями – у відповідності з відомою формулою Максвелла. Якщо ж електронну плазму метала якимсь чином вивести з рівноваги, то в ній збуджуються коливання навколо рівноважного стану.

Розглянемо, наприклад, плоску границю метала і непровідного середовища (рис.1). Таким середовищем може бути вакуум, газ, рідина або тверде тіло.

Нехай в якомусь місці концентрація електронів відхиляється від рівноважної, наприклад, підвищується. Тоді в сусідніх областях залишається некомпенсований додатній електричний заряд ядер.

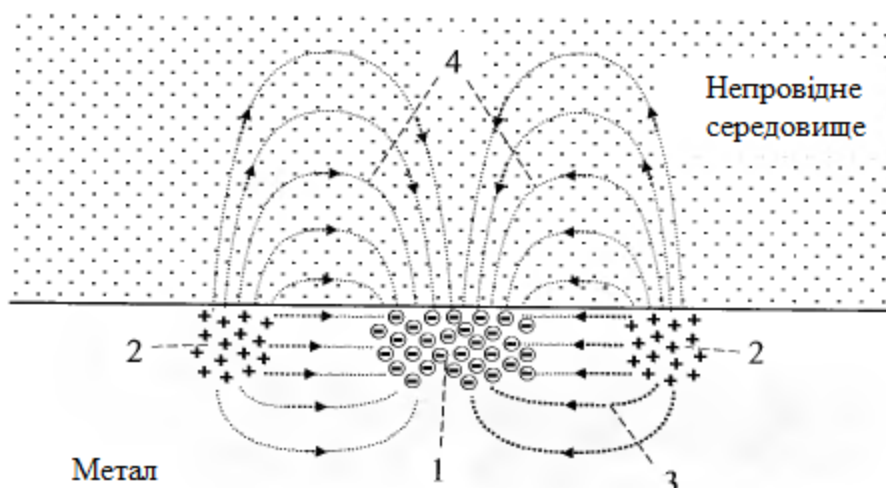


Рисунок 1.1. – Межа розділу метал і непровідне середовище.

- 1 – область підвищеної концентрації електронів провідності; 2 – додатний об’ємний заряд; 3 – електричне поле всередині метала;
4 – електричне поле в непровідному середовищі

У результаті просторового розділу зарядів у металі виникає електричне поле, яке на рисунку 1.1 умовно позначено лініями напруження 3. Ще більш сильне електричне поле виникає в сусідній непровідній області. На рисунку 1.1. умовно позначено лініями напруженості 4. Під дією електричного поля електрони починають рухатися в напрямку додатного об’ємного заряду 2. Змінне електричне поле і виникаючий в металі електричний струм генерують змінне магнітне поле. А воно, в свою чергу, за законом індукції генерує змінне електричне поле. Змінні електричне і магнітні поля, в свою чергу, впливають на рух електронів провідності і збуджують в електронній плазмі коливання густини.

В результаті вздовж межі розділу метала і непровідного середовища поширюється електромагнітна хвиля, а в плазмі металу – супутня їй хвиля густини електронів провідності.

Провівши теоретичний аналіз [3,4], побачили, що електронна плазма має граничну («ленгмюрівську») кругову частоту коливань ω_L , яка у металів з рівноважною концентрацією електронів провідності порядку 10^{28} м^{-3} має величину порядку $\omega_L \approx 10^{16}$.

При взаємодії із змінним електромагнітним полем, довжина хвилі якого λ набагато більша відстані між атомами (а це виконується навіть для жорсткого ультрафіолетового світла з довжиною хвилі порядку 100 нм), метал разом з його електронною плазмою можна розглядати як неперервне середовище з комплексною діелектричною проникністю (формула 1.1)

$$\varepsilon(\omega) = \varepsilon_c - \frac{\omega_L^2}{\omega^2 + i\omega/\tau}, \quad (1.1)$$

де ω – кругова частота зовнішнього змінного електромагнітного поля;

τ – середній час вільного пробігу електронів провідності в данному металі;

ε_c – частина діелектричної проникності, обумовлена «зв'язаними» (з ядрами атомів) електронами, яка зазвичай додатня і трохи більше 1.

Уявна частина комплексної діелектричної проникності метала характеризує швидкість дисипації (втрат) енергії електромагнітного поля в металі. А дійсна частина цієї проникності у більшості металів від'ємна. Фізично це означає, що при виникненні зовнішнього електричного поля в металі виникає індуковане електричне поле, напрямлене назустріч зовнішньому полю.

Залежність комплексної діелектричної проникності деяких найбільш часто використовуваних в ППР-сенсориці металів від частоти, точніше від довжини хвилі, показана на рисунку 1.2 [5,6]. На нижньому рисунку є дві вертикальних шкали – ліворуч і праворуч. Стрілками біля кривих залежності відмічено яка шкала відноситься до кожного з металів. Як бачимо, дійсна частина комплексної діелектричної проникності всіх вказаних металів (алюмінія, золота та срібла) від'ємна, а уявна частина – додатня.

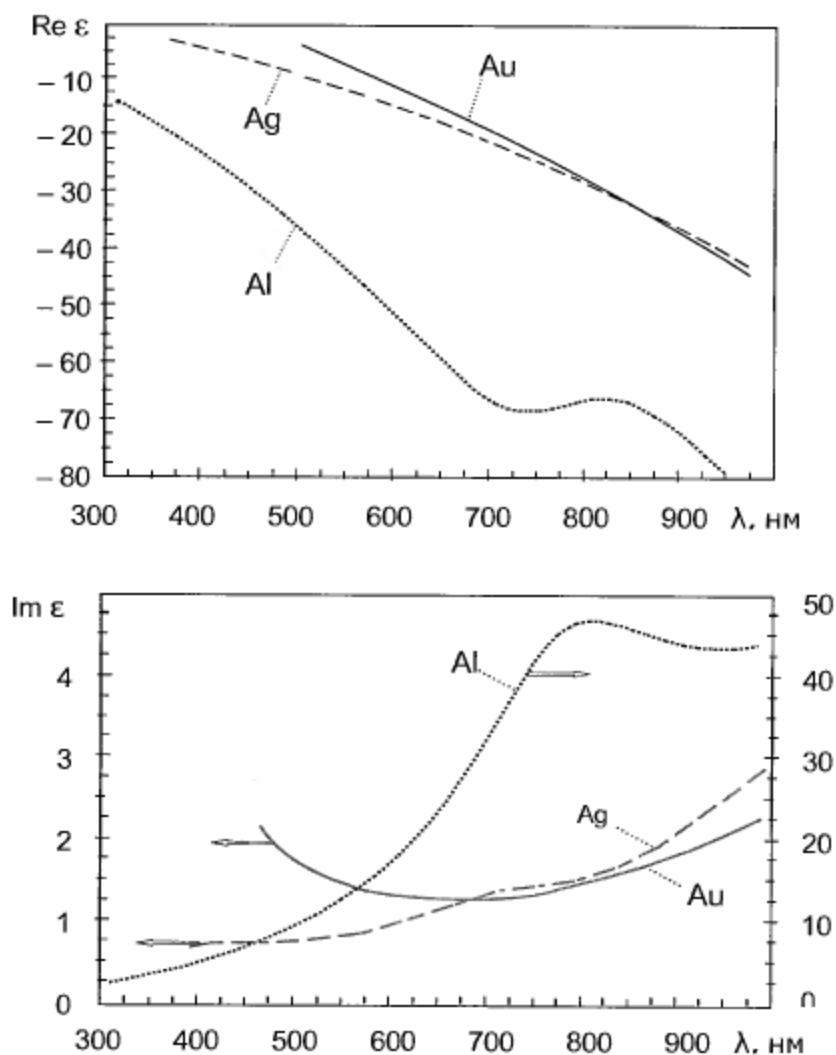


Рисунок 1.2. – Спектральна залежність комплексної діелектричної проникності алюмінія, золота та срібла за кімнатної температури

Для вірного розуміння фізичної суті плазмонів зробимо ще одне зауваження. Якщо розглядати поверхневі електромагнітні хвилі, супутні з колективними коливаннями електронної плазми металу, з точки зору квантової електродинаміки, то ці хвилі «квантуються». Тобто вони, як і світлові електромагнітні хвилі, можуть збуджуватись і поглинатись тільки певними порціями – квантами. Кожний квант при цьому можна розглядати як квазічастинку. Такі квазічастинки називають «поверхневими плазмонами» [7].

Властивості поверхневих плазмонів:

- їх хвильовий вектор \vec{k}_{sp} завжди напрямлений вздовж поверхні метала в сторону розповсюдження хвилі. Його величина суттєво залежить від показника заломлення непровідного середовища. І саме це відкриває дорогу до широкого використання поверхневих плазмонів в сенсориці.
- поверхневі плазмони поляризовані так, що вектор їх магнітної індукції паралельний поверхні метала і перпендикулярний хвильовому вектору. Це так звана «*p*-поляризація» або ж «ТМ-мода». Вектор напруженості електричного поля перпендикулярний вектору магнітної індукції і лежить в площині, перпендикулярній до поверхні метала.
- максимальна амплітуда коливань векторів електричної напруженості та магнітної індукції має місце на межі розділу середовищ. При віддаленні від межі розділу амплітуда коливань швидко згасає як в одну, так і в іншу сторону. Глибина проникнення в непровідне середовище – порядку половини довжини електромагнітної хвилі. Глибина проникнення в метал – на порядок менша. Таким чином, поверхневий плазмон зосереджений в основному на межі метала з діелектриком.
- гранична кругова частота коливань поверхневих плазмонів в $\sqrt{2}$ раз менша «ленгмюрівської» кругової частоти коливань об'ємної плазми металу.

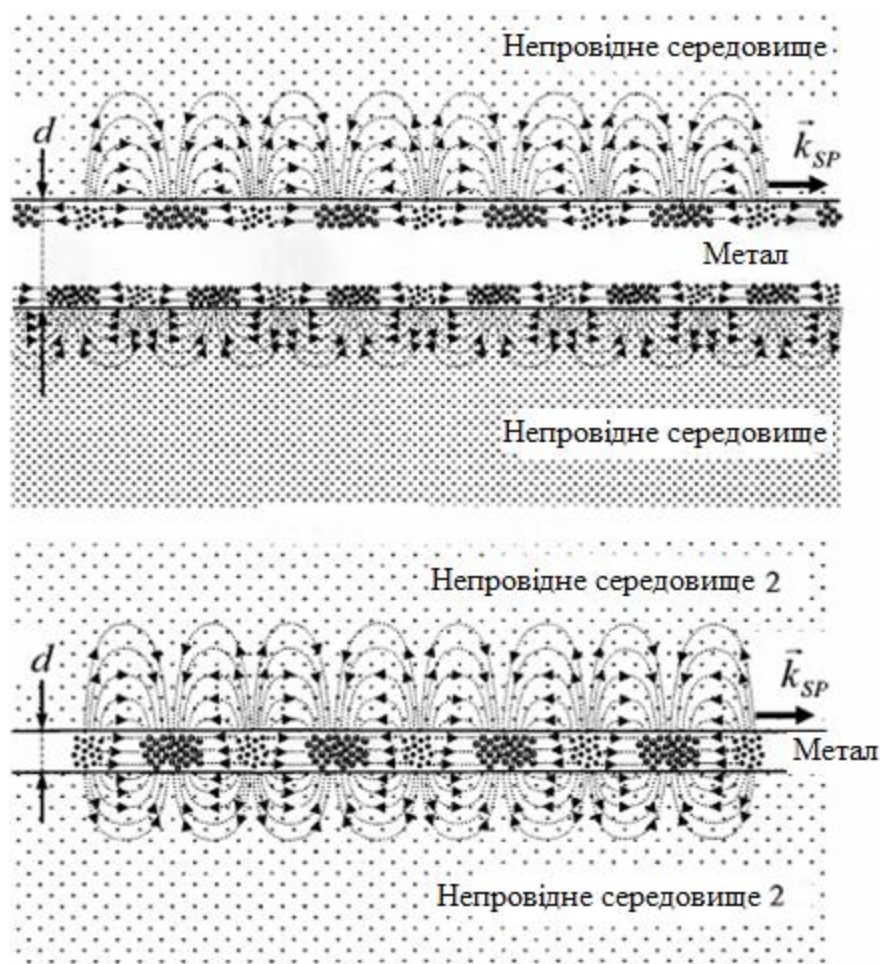


Рисунок 1.3. – Поверхневі плазмони в порівняно товстому (вище) і в тонкому (нижче) шарі металу між двома різними непровідними середовищами

Методи збудження ППР

1. Схема Кречмана

В 1968р. в працях [8,9] були розроблені і запропоновані оптичні схеми, які дозволяють реалізувати нижче наведені умови і спостерігати збудження поверхневих плазмонів. Більш популярна з цих схем названа в честь автора «схемою Кречмана» [9], показана на рисунку 1.4.

Один із варіантів умов спостереження:

1) падаюче світло повинно бути р-поляризоване, тобто вектор магнітної індукції повинен бути паралельний поверхні металу. Тоді вектор напруженості електричного поля лежить в площині падіння;

2) повинні бути забезпеченні умови повного внутрішнього відбивання, тобто світло повинно падати зі сторони оптично більш густого середовища під кутом більшим, за кут повного внутрішнього відбивання;

3) проекція k_x хвильового вектору \vec{k} фотонів світла на поверхню металу повинна бути приблизно рівна дійсній частині $\text{Re}\vec{k}_{sp}$ хвильового вектору поверхневого плазмону.

В схемі Кречмана збуджуюче р-поляризоване світло проходить крізь прозоре середовище 1 і падає на межу поділу з металічною плівкою 2. Середовище 1 зазвичай скляна призма з відносно високим показником заломлення $n_{np} \geq 1,6$. Металічна плівка 2 нанесена безпосередньо на її поверхню. Кут падіння світла θ повинен бути більшим за кут повного внутрішнього відбивання. Хвильовий вектор падаючого світла за абсолютною величиною рівний

$$k = \frac{2\pi n_{np}}{\lambda}, \quad (1.2)$$

де λ – довжина хвилі світла у вакуумі(або в повітрі). Його проекція на поверхню металевої плівки :

$$k_x = k \sin \theta = \frac{2\pi n_{np}}{\lambda} \sin \theta. \quad (1.3)$$

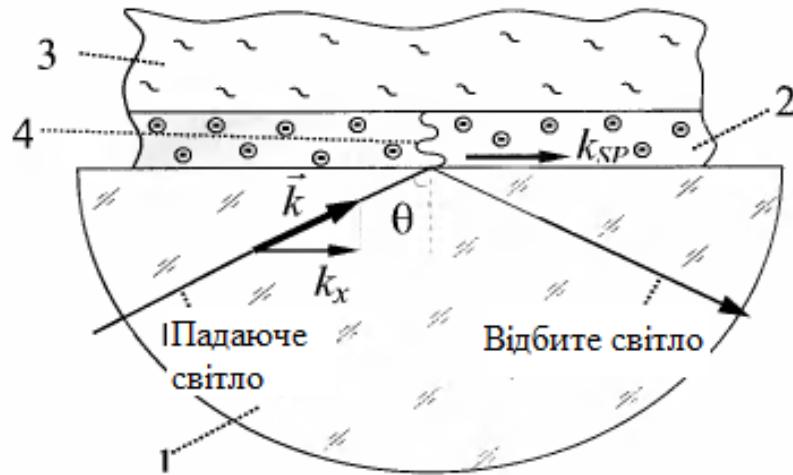


Рисунок 1.4. – Схема Кречмана для оптичного збудження поверхневих плазмонів і спостереження ППР:

1 – прозоре середовище з високим показником заломлення; 2 – тонка металічна плівка; 3 – непровідне середовище з іншої сторони металічної плівки; 4 – затухаюча світлова хвиля

Таким чином третя з вищенаведених умов записується в вигляді:

$$\frac{2\pi n_{np}}{\lambda} \sin \theta = \frac{2\pi}{\lambda} f(\epsilon_M, \epsilon_{d1}, \epsilon_{d2}, \lambda) .$$

$$n_{np} \sin \theta = f(\epsilon_M, \epsilon_{d1}, \epsilon_{d2}, \lambda) \quad (1.4)$$

Функцію $f(\epsilon_M, \epsilon_{d1}, \epsilon_{d2}, \lambda)$ інколи називають «ефективним коефіцієнтом заломлення поверхневого плазмона» і позначають $n_{\text{эф}}$.

Виконання таких умов залежить і від кута падіння, і від довжини хвилі падаючого світла. Тому можливі два основних способи експериментального спостереження ППР.

В першому з них використовують монохроматичне падаюче світло, тобто фіксують довжину світла, а кут падіння поступово змінюють, вимірюючи інтенсивність $\Phi(\theta)$ відбитого пучка як функцію цього кута. Типова залежність інтенсивності від кута показана на рис 1.5. При кутах падіння світла, за яких

вищенаведена умова не виконується (ділянка 1), поверхневі плазмони не збуджуються, і майже все світло відбивається від межі з металом. Інтенсивність пучка світла велика. Але коли змінюється кут падіння і наближається до виконання рівності (1.4), в металічній плівці починають збуджуватись плазмонні коливання. Все більша частина енергії падаючого світла передається поверхневим плазмонам, і тому інтенсивність відбитого світла різко падає (ділянка 2). Це і приводить до порушення повного внутрішнього відбивання. Якщо точно дотриматись умови (1.4) на залежності $\Phi(\theta)$ будемо спостерігати мінімум. Якщо далі збільшувати кут то умова перестане виконуватись. Енергія падаючого світла все менше буде йти на збудження плазмонів, і інтенсивність відбитого світла знову виросте (ділянка 3). Даний графік дуже нагадує резонансну криву з мінімумом, - тому експериментально спостережену залежність інтенсивності відбитого світла від кута падіння назвали явищем «поверхневого плазмонного резонансу» (скорочено ППР).

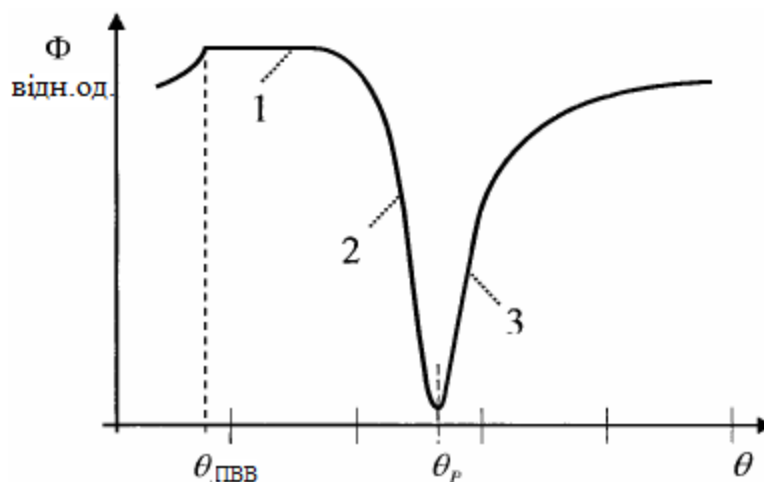


Рисунок 1.5. – Типова крива поверхневого плазмонного резонансу при спостереженнях у монохроматичному світлі зі зміною кута падіння від кута повного внутрішнього відбивання до резонансного кута і далі

Ще одне важливе зауваження. Якщо падаючий на межу з металевою плівкою світловий пучок має як р-поляризовану, так і s-поляризовану компоненти, то ППР на кутовій залежності відбитого світла стає менш вираженим. Це зв'язано з тим, що s-поляризована компонента падаючого світла

не збуджує поверхневі плазмони і тому відбувається її повне внутрішнє відбивання. Інтенсивність обох компонент на виході сумуються. Якщо перед фотоприймачем встановити аналізатор, який пропускатиме тільки р-поляризоване світло, то і при неполяризованому падаючому світлі можна чітко спостерігати кутовий ППР-резонанс.

Другий спосіб експериментального спостереження збудження поверхневих плазмонів в схемі Кречмана, за фіксованого кута падіння, поступово змінюють довжину падаючого світла. Такий графік залежності інтенсивності відбитого світла від довжини хвилі падаючого світла називають «спектром ППР».

2. Схема Отто

В оптичній схемі збудження поверхневих плазмонів, запропонованій Отто [8] (рисунку 1.6), також використовується принцип порушення повного внутрішнього відбивання.

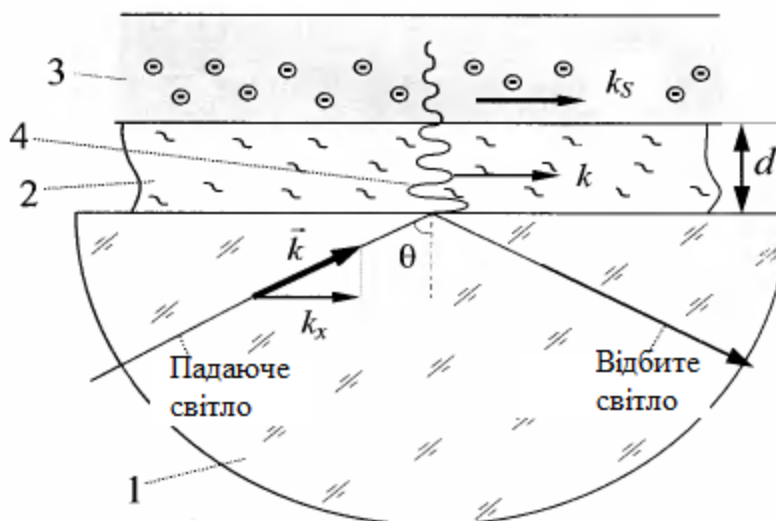


Рисунок 1.6. – Схема Отто для оптичного збудження поверхневих плазмонів і спостереження ППР:

1– прозоре середовище з високим показником заломлення; 2 – тонкий шар діелектрика; 3 – метал; 4 – затухаюча світлова хвиля

На відміну від оптичної схеми Кречмана, в цій схемі між поверхнею призми 1 і поверхнею металу 3 знаходиться тонкий шар діелектрика 2 з показником заломлення меншим, ніж у призми, щоб виконувалась умова повного внутрішнього відбивання. В шар діелектрика проникає затухаюча електромагнітна хвиля 4. Якщо цей шар достатньо тонкий, то хвиля досягає і поверхні металу 3.

В оптичній схемі Отто велике значення має товщина шару діелектрика. Вона повинна бути невеликою і сталою, що створює додаткові проблеми в сенсорних використаннях. Тому в ППР–сенсорах надають перевагу оптичній схемі Кречмана.

3. Схема оптичного збудження далеко проникаючих плазмонів

Для збудження далеко проникаючих поверхневих плазмонів плівка металу повинна бути достатньо тонкою, а показники заломлення діелектричних середовищ, межуючих середовищ, повинні бути майже рівними.

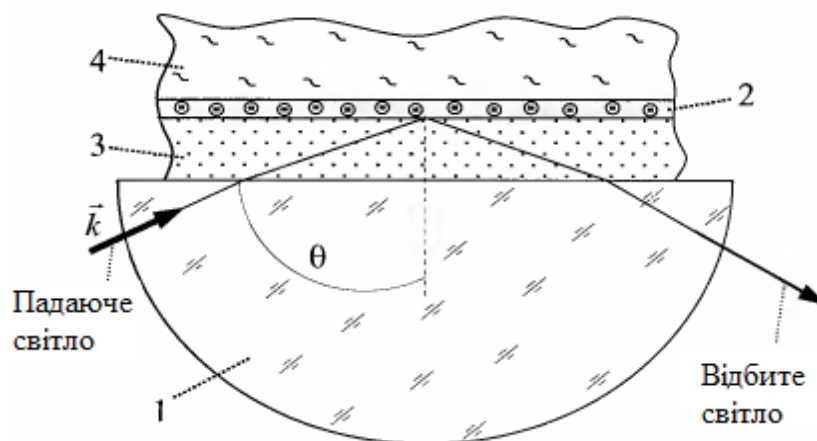


Рисунок 1.7. – Схема оптичного збудження далеко проникаючих поверхневих плазмонів: 1 – оптична призма; 2 – плівка золота; 3 – шар цитопа; 4 – водний розчин який досліджується [10]

Між поверхнею оптичної призми 1 і тонше, ніж зазвичай, плівкою золота 2 аносять порівняно товстий, 1-2 мкм, шар цитопа.

Цитоп («Сytop») – оптично прозорий хімічно інертний матеріал показник заломлення якого близький до показника заломлення води. Відносна доля далеко проникаючих поверхневих плазмонів, інтенсивність поверхневої електромагнітної хвилі, ширина і глибина резонансного провалу на кутовій кривій ППР суттєво залежать, у цій конфігурації, від природи і товщини плівки металу, від товщини шару цитопа. За оптимального їх підбору можна отримати значний виграш в порівнянні з звичайною схемою Кречмана.

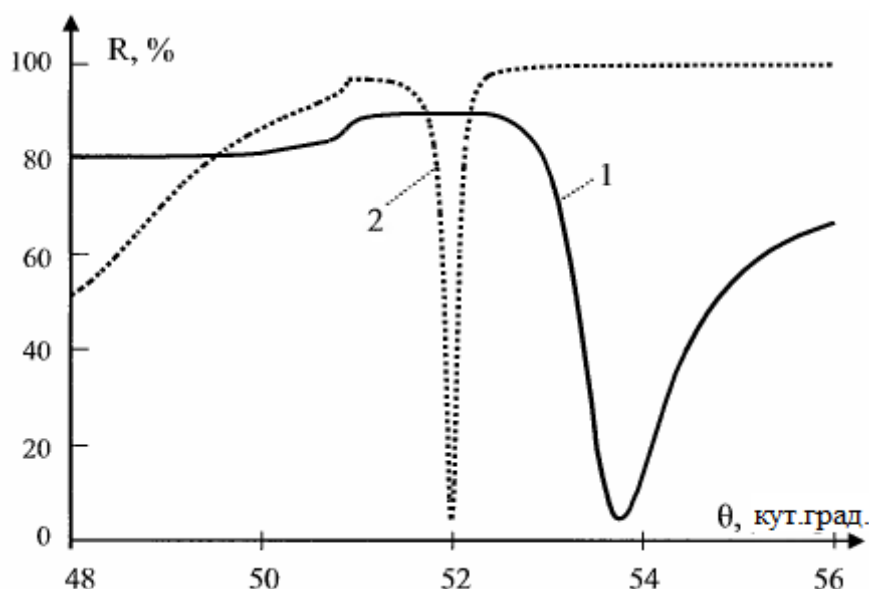


Рисунок 1.8. – Кутові криві ППР: 1 – звичайна схема з'юудження; 2 – при збудженні далеко проникаючих поверхневих плазмонів

Крива 1 отримана на структурі «оптична призма з скла SF10 – плівка золота товщиною 45 нм – водний розчин», а крива 2 для структури «оптична призма з скла SF10 – шар цитопа товщиною 1.1 мкм – плівка золота товщиною 32 нм – водний розчин». Розрахунки показують, що електромагнітне поле далеко проникаючих плазмонів біля межі з металом на порядок сильніше, ніж при збудженні поверхневих плазмонів за схемою Кречмана або схемою Отто.

4. Оптичне збудження поверхневих плазмонів і спостереження ППР за допомогою дифракційних структур

Метод порушення повного внутрішнього відбивання не є єдиним можливим способом оптичного збудження поверхневих плазмонів. Достатньо широко використовується також метод, в основу якого покладено застосування дифракційних структур. Одним із варіантів такої структури є поверхня металу з створеним на ній періодичним рельєфом (рисунку 1.9).

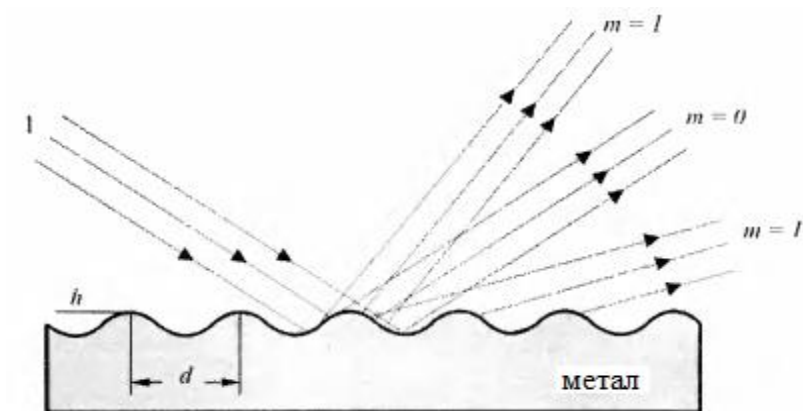


Рисунок 1.9. – Схема оптичного збудження поверхневих плазмонів за допомогою дифракційної структури на поверхні металу

1 – падаючий p -поляризований світловий пучок;

D – період дифракційної структури; h – глибина рельєфу; m – порядок дифракційного максимуму

За наявності такого рельєфу має місце явище дифракційного світла. Відбиття світла при цьому відбувається не тільки в напрямку дзеркального відбиття, але і під іншими кутами за яких спостерігаються дифракційні максимуми (рисунок 1.10).

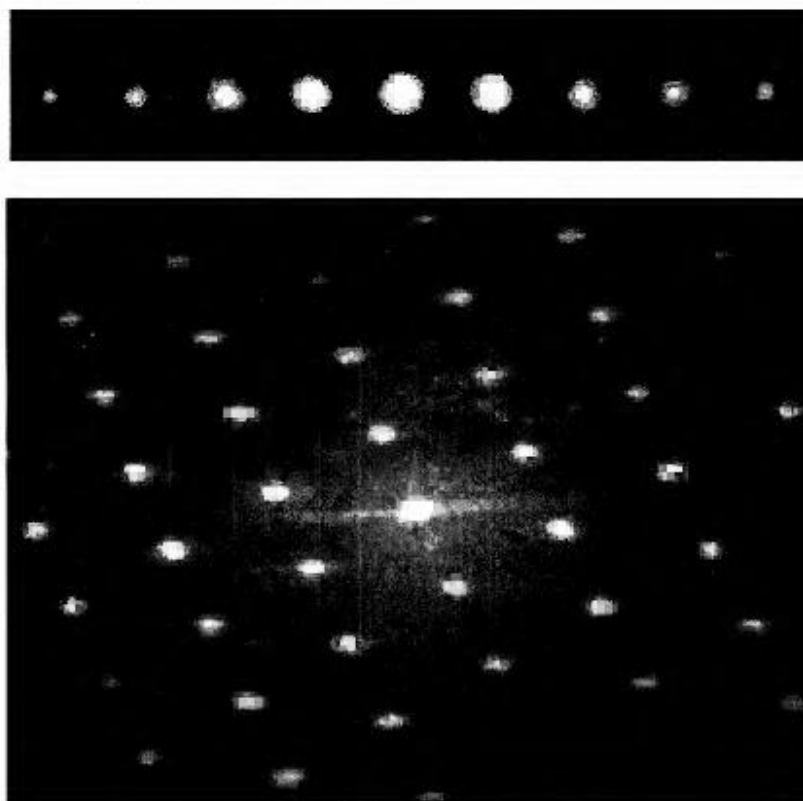


Рисунок 1.10. – Фото відбитого від дифракційної структури пучка світла від лазерного діода: зверху – від одновимірної дифракційної структури у вигляді паралельних ліній; знизу – відбитого від двовимірної дифракційної структури у вигляді системи періодично розташованих квадратів [5]

Дифракційна структура може бути сформована не тільки у вигляді рельєфа на поверхні метала, але і в інших варіантах. Спочатку може бути, наприклад, сформований рельєф на поверхні прозорої підкладки, на яку потім наносять тонку плівку метала (рисунку 1.11а).

На рисунку 1.11б [5] показаний варіант, коли дифракційна структура формується у вигляді повністю розділених смужок металічної плівки, а на (рисунку 1.11. в) – ще один варіант, коли дифракційна структура виконана у вигляді паралельних смужок діелектрика на металічній плівці.

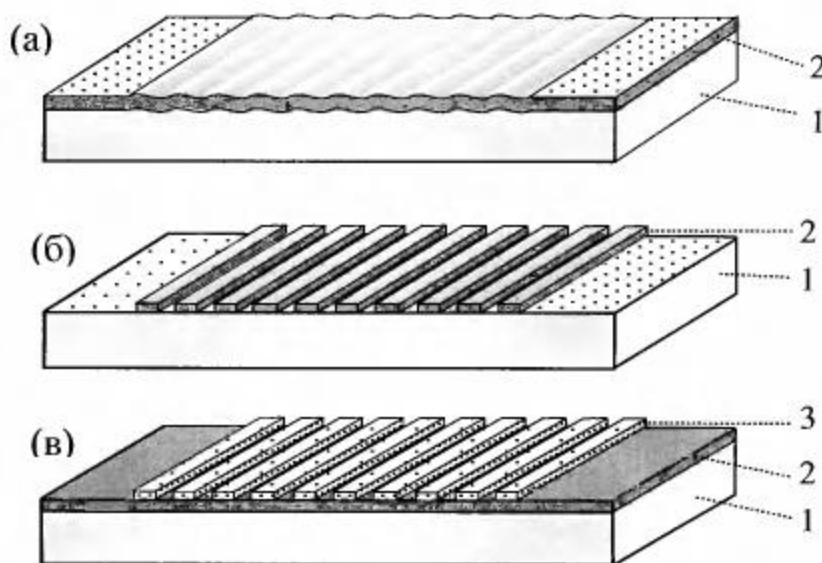


Рисунок 1.11. – Способи отримання дифракційних структур:

(а) шар металу поверх структурованої прозорої плівки; (б) структурований шар металу; (в) структурований діелектрик поверх металічної плівки;

1 – прозора підкладка; 2 – тонкий шар металу; 3 – діелектрик над шаром металу.

Фур'є-аналіз показує, що оптимальним рельєфом для дифракційної структури є синусоїдальний або близький до нього рельєф.

5. Збудження поверхневих плазмонів і спостереження ППР в оптичних хвилеводах

Ще один спосіб – використання планарних хвилеводів. Вони являють собою шар прозорого діелектрика з показником заломлення більшим, а ніж сусідніх шарів рисунку 1.12 (зверху) [5]. Завдяки цьому всередині хвилевода може поширюватись світлова хвиля, зазнавати повне внутрішнє відбивання від його верхньої і нижньої граней.

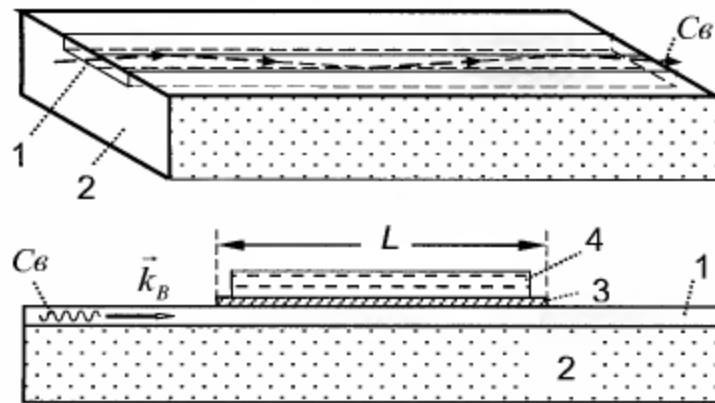


Рисунок 1.12. – Зверху – структура планарного оптичного хвилевода.

Знизу – взаємодія оптичного хвилевода з нанесеним на нього зверху структурою «метал – діелектрик» 1 – хвилевід; 2 – основа з матеріалу з меншим показником заломлення; 3 – тонка плівка металу; 4 – діелектричний шар

Умови їх оптичного збудження такі:

- 1) світло яке поширюється вздовж хвилевода 1 має бути р – поляризованим (ТМ-мода), тобто вектор магнітної індукції паралельний поверхні металу;
- 2) хвильові вектори світла і поверхневих плазмонів повинні бути рівними.

6. Оптичне збудження поверхневих плазмонів біля нанонеоднорідностей

Поверхневі плазмони можуть бути оптично збудженні також в тому випадку, коли на поверхні металу або металевої плівки є «нанонеоднорідності», тобто неоднорідності з розмірами меншими довжини світлової хвилі (рисунку 1.13)

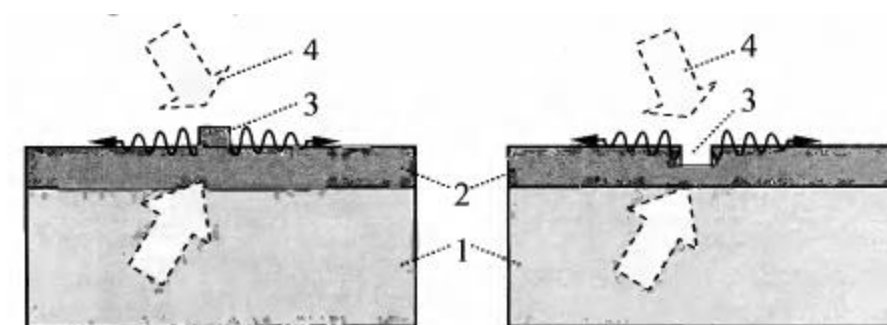


Рисунок 1.13. – Схема оптичного збудження поверхневих плазмонів за допомогою нанонеоднорідностей: 1 – підкладка; 2 – тонка плівка металу; 3 – нанонеоднорідність (виступ, впадина, відступ,...); 4 – падаючий світловий пучок

Треба зауважити, що ефективність збудження поверхневих плазмонів таким способом невелика. І спостерігати його можна лише в особливих умовах, коли світловий пучок сильно сфокусований на відповідних нанонеоднорідностях.

7. ППР–стимулювання флюорисценції

Поверхневий плазмонний резонанс може бути виявлений не тільки засобами вимірювання інтенсивності або зсуву фази відбитого кута, але і іншими способами. Оскільки при ППР збуджуються поверхневі хвилі, густина енергії в яких на декілька порядків вища густини енергії в падаючому пучку.

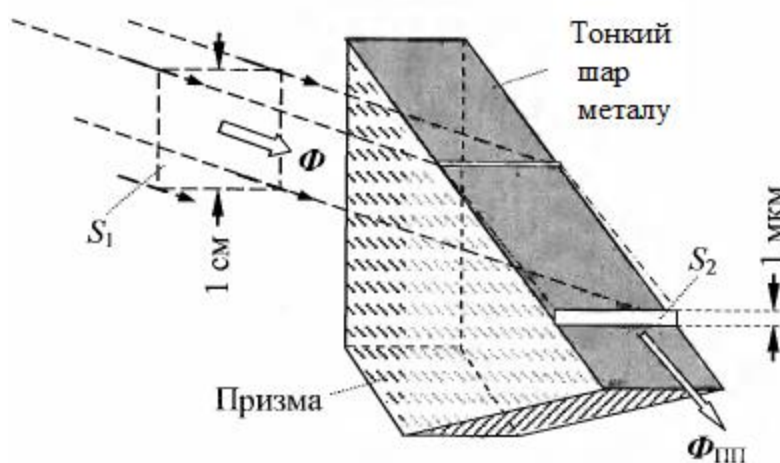


Рисунок 1.14. – Значне збільшення густини потоку енергії поверхневих плазмонів в порівнянні з густиною потоку енергії в падаючому пучку.

За час свого життя поверхневі плазмони можуть приймати участь в різних взаємодіях. Наприклад, вони можуть взаємодіяти з резонансними станами (електромагнітними осциляторами різної природи з близькою власною частотою) в прилягаючих областях. Якщо в прилягаючому шарі до металу діелектричному шарі є частки люмінофору, в яких може збуджуватись флюорисценція під дією падаючого світла, то спостерігається, що така флюорисценція може збуджуватись і в результаті взаємодії часток люмінофору з відповідними поверхнями плазмонів. Енергія останніх передається часткам люмінофору в межах зони проникнення затухаючого електромагнітного поля плазмонів в діелектрик, тобто на відстань декількох сотень нанометрів для «звичайних» і декількох мікрометрів «далекопроникаючих» поверхневих плазмонів. Схема спостереження такої ППР–стимульованої флюорисценції зображена на рисунку 1.15 [11].

від їх розміру за сталої концентрації. Середній розмір наночастинок в нанометрах вказаний біля кожної кривої. Видно, що для наночастинок різного розміру резонансна частота, якій відповідає пік коефіцієнта екстинкції, різна. У більших наночастинок, у залежності від їх форми може бути кілька резонансних частот.

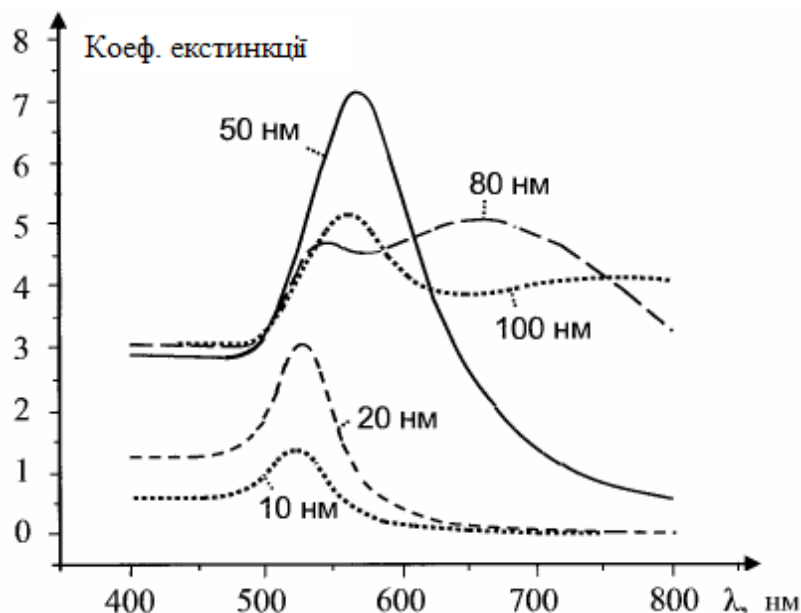


Рисунок 1.17. – Спектри ослаблення світла наночастинками срібла (спектри екстинкції) в залежності від їх розмірів

1.2. Актуальність використання ППР-сенсорів

Сенсор – це пристрій (прилад, орган), який перетворює фізичні (фізико–хімічні) зміни в об’єкті спостереження, його фізичний вплив в інформаційний сигнал для користувача. Сенсор повинен видавати «користувачу» об’єктивну вихідну інформацію про о’єкт спостереження, на основі якої користувач може створювати інформаційні моделі або ж судити про те, наскільки вони адекватні реальним процесам, з якими мають справу [13].

ППР–сенсори можуть реєструвати будь які зміни, що визначають умови спостереження ППР.

При спостереженнях ППР методом порушеного повного внутрішнього відбиття (ППВВ) виконання умов залежить від таких факторів:

- 1) від поляризації, довжини хвилі і кута падіння збуджуючого світла;

2) від товщини тонкої плівки метала, від його комплексної діелектричної проникності і від її дисперсії;

3) від діелектричної проникності прилягаючих до металу діелектриків.

Тому ППР–сенсори, побудовані на принципі ППВВ, можуть фіксувати зміни цих факторів. Трохи пізніше були створені ППР–рефрактометри – дуже точні прилади для вимірювання показників заломлення рідин та газів, забезпечують точність вимірів до 5-6-го десяткового знака після коми. Такими сенсорами, наприклад, можна розрізнити різні сорти бензину, виявити факти підмішування до дорогих сортів бензину дешевих сортів або води.

Також такі сенсори використовуються для спостереження за біомолекулярними взаємодіями, для відслідковування ходу біохімічних реакцій зв'язування молекул в реальному часі.

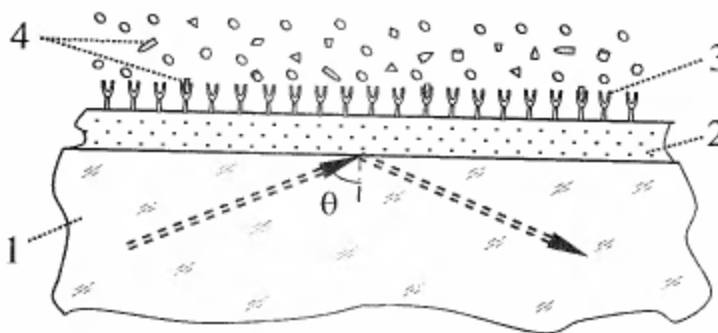


Рисунок 1.18. – Схема спостереження зсуву кривої ППР за наявності аналіта: 1 – прозоре середовище з високим показником заломлення; 2 – тонка металічна плівка; 3 – чутливий шар ліганд; 4 – молекули (частинки) аналіта.

Рецептор (ліганд) – це шар активних молекул або частинок, які вибірково взаємодіють з аналітом, тобто тими молекулами чи частинками, концентрацію який в розчині ми хочемо виміряти чи за вимірами яких ми хочемо спостерігати.

Нові сфери використання:

- 1) підвищення точності і прискорення аналізу крові.

Для раннього виявлення раку передміхурової залози і контролю розвитку цього захворювання в процесі лікування лікарі-онкоурологи широко використовують аналіз крові на вміст PSA (prostate-specific antigen). Цей протеїн виділяється епіталіальними клітинами передміхурової залози, і його кількість суттєво росте при розвитку онкологічного захворювання простати. Звичайні методи дослідження потребують великих затрат часу, дорогих реактивів і спеціально підготовленого персоналу. Для отримання результатів потрібно більше доби. Методом ППР–сенсорики аналіз робиться за 40 хв.

- 2) контроль безпеки продуктів харчування.

Контроль безпеки продуктів харчування нерідко ускладнюється недостатньою чутливістю або ж дороговизною методів контролю. Важко контролювані, наприклад, афлотоксини, які виділяються грибками аспергилами, які можуть пригнічувати реплікацію ДНК і являються одним з головних факторів ризику розвитку карциноми печінки.

- 3) дослідження взаємодій і структури ДНК.

ППР–стимулювання КРС і флюоресценція стали досить ефективними методами дослідження молекул спадковості ДНК. Ці методи дозволили, наприклад, досліджувати рідку взаємодію основ, спарених всупереч принципу компліментарності. Створений цілий інструмент для виявлення та дослідження мутацій ДНК. Ті ж методи використовуються для розпізнавання генів ракових клітин, цікавих фрагментів ДНК і РНК.

- 4) дослідження процесів в живих клітинах.

- 6) сенсори вологи.

Сенсори вологи – в таких сенсорах окрім металевої плівки ще наноситься акрилові або інші полімерні, прозорі поверхні. Це робиться для того щоб збільшити абсорбцію рідини на поверхні сенсора і таким чином збільшити його чутливість.

А також сенсори температури, освітленості та інші сенсори, які можна побудувати на таких ефектах.

7) масові скрінінги речовин – найкращих кандидатів в антитіла до вибраних білків, пептидам, вірусам.

8) скануючі ППР–мікроскопи ближнього поля, які змогли подолати «дифракційний бар'єр» оптичних мікроскопів і досягнута субхвильова (краще 100 нм) оптична роздільна здатність

9) сенсори з межою визначення концентрації аналіту 10^{-12} моль/л.

1.3. Ацетон, методи його визначення. Актуальність медичних сенсорів для ацетону

Ацетон, пропанон – перший представник гомологічного ряду аліфатичних кетонів.

Формула

$(\text{CH}_3)_2\text{CO}$ [14].

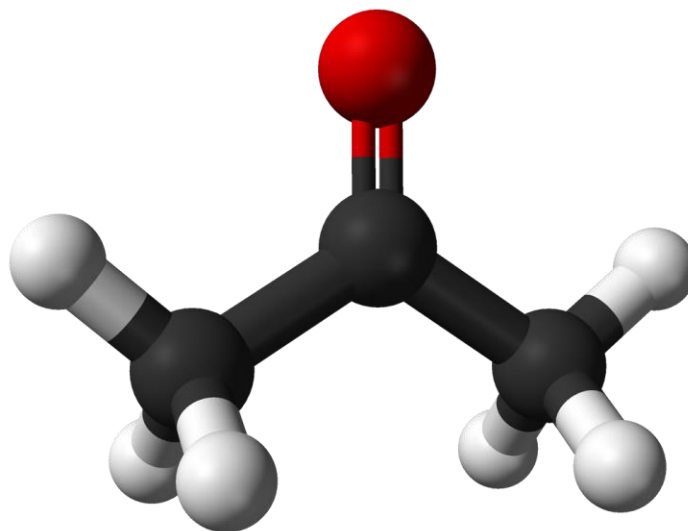


Рисунок 1.19. – Молекула $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ - ацетон

Ацетон широко використовується в якості розчинника епоксидних і природних смол, мастил та інших матеріалів, а також для знежирення поверхні.

Ацетон з киснем повітря утворює легкозаймисті сполуки. При контакті з деякими окисниками ацетон займається з вибухом.

За фармакологічними властивостями ацетон відноситься до числа речовин, які мають наркотичну дію. Йому притаманні кумулятивні властивостями і повільно виводиться з організму. Ацетон утворюється в організмі людини в стані «кетозу», який є ускладненням діабету. Актуальною задачею медичної діагностики є визначення концентрації ацетону в повітрі, яке видихає хворий на діабет.

Останні літературні дані показують, що напівпровідникові сенсори можуть знайти застосування в новій галузі, а саме в медицині. Відомо, що в повітрі яке видихається людиною, містяться близько 200 різних летких органічних з'єднань, які є продуктами процесів метаболізму. Основними вважаються ізопрен, ацетон, етанол, метанол. Присутні також пари води. В разі хворих на цукровий діабет 1-го типу газом індикатором, проходження хвороби, стає ацетон. У таких хворих знижується вироблення інсуліну, що забезпечує переробку цукру, зростає вміст цукру в крові. При цьому для підтримки енергії починається метаболізм жирів, продуктом якого і є ацетон. В даний час стан хворого оцінюється за допомогою глюкометрів, що дозволяють визначати концентрацію глюкози в крові, яка береться з пальця хворого. Процедура є болючою і небезпечною. Тому необхідно знайти заміну такого способу іншими безкровними методами. Контроль вмісту ацетону в повітрі, що видихається піддослідним дозволяє здійснювати діагностику дефіциту інсуліну. Підвищення вмісту ацетону в у повітрі, яке видихається, можливо також у спортсменів при тренуваннях, коли знижується вміст цукру в крові і необхідна його компенсація. Роботи зі створення портативних ацетонометрів тільки починаються, отримані перші попередні експериментальні дані. Найбільш важливою проблемою є забезпечення селективного детектування низьких концентрацій (2-40 ppm) ацетону. Для вирішення даного завдання доцільно використовувати різні каталізатори в обсязі і на поверхні плівок. Відносна вологість видихуваного повітря становить більше

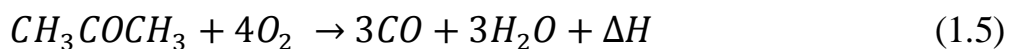
90%, таким чином при контролі складу суміші, сенсор знаходиться в умовах високої вологості [15].

Для визначення концентрації ацетону використовують хімічні газові сенсори, перевагою яких є малі розміри, висока чутливість, простота використання [16]. Також висока селективність до ацетону притаманна металоксидним сенсорам. Низька стабільність роботи п'єзокварцових сенсорів на основі низькомолекулярних сорбентів не дозволяє використовувати їх для детектування ацетону.

Методи визначення концентрації ацетону:

1. Термокаталітичний

Найбільш розповсюдженими газовими сенсорами є термокаталітичні. В таких сенсорах концентрація ацетону визначається через визначення теплоти хімічної реакції взаємодії газу-відновника, який знаходиться в повітрі і кисню на поверхні каталізатора:



На платиновий дріт, з нанесеним на нього каталізатором, подається різниця електричних потенціалів. Платиновий дріт і каталізатор при цьому нагріваються. Кількість теплоти, яка виділяється при нагріванні, визначається двома факторами. Перший фактор – «Джоуль – Ленц» Q , виділяється в результаті проходження електричного струму через дріт. Другий фактор – теплота хімічної реакції dH .

В багатьох випадках термокаталітичні сенсори працюють в гальванічному режимі, причому підбір струму I_0 (тобто, по суті, робочої температури каталізатора) визначається природою аналіту. Якщо сенсор знаходиться в атмосфері чистого повітря і виділяється тільки тепло «Джоуля-Ленца», то напруга на дроті мінімальна U_0 . При потраплянні в повітря аналіта-відновника виділяється додаткове тепло, при цьому напруга збільшується на величину dU :

$$Q = I_0 (U_0 + \Delta U) \quad (1.6)$$

Величина dU визначається концентрацією аналіта і є аналітичним сигналом.

Таблиця 1.1 – Чутливість і межі детектування термokatалітичних сенсорів при визначенні концентрації ацетону [15]

Каталізатор	Чутливість, (В*м ³)/г	Межа детектування, мг/м ³
CeO ₂ -ZrO ₂ -LaO ₃ (10% La)	0.99	3.2
CeO ₂ -ZrO ₂ -PrO ₃ /Pt (1% Pr)	1.73	2.5
CeO ₂ -ZrO ₂ -Pr ₂ O ₃ (10% Pr)	2.38	1.9*
CeO ₂ -ZrO ₂ -La ₂ O ₃ (1% La)	1.74	2.4
CeO ₂ -ZrO ₂	1.86	2.3

2. Кварцовий п'єзореzonатор

П'єзореzonатори являють собою тонкі пластини монокристала кварцу певного зрізу з нанесеними на них електродами. При подачі на електроди змінного струму в них може виникати резонанс на частоті, яка визначається, зокрема, масою електроду. Якщо на поверхню електродів нанести селективний сорбент, то резонатор може використовуватись в якості гравіметричного сенсора. Рівняння Зауербрея зв'язує зміну частоти коливань кварцового резонатора (df) із зміною маси електродів (dm), відповідаючим сорбції аналіта:

$$\Delta f = \frac{f^2}{\omega \cdot \rho} \cdot \Delta m \quad (1.7)$$

де f – початкова частота коливань резонатора, ω – швидкість звуку в кварці, ρ – густина кварцу.

Таблиця 1.2 – Чутливість і межі детектування п'єзореzonансних гравіметричних сенсорів при визначенні концентрації ацетону [15]

Речовина	Чутливість, (Гц*м ³)/г	Межа детектування, мг/м ³
Пектин соняшниковий	482	21

Пектин горобиний	193	52
Пектин цитрусовий	275	36
Поліметилметакрилат	113	88

3. Напівпровідникові металоксидні сенсори

Газові сенсори на основі метал оксидних напівпровідників, які масово виготовляються, поділяються за своїм типом на тонко- і товстоплівкові. Критерієм для такого розділення є відношення загальної товщини плівки до розміру зерна в плівці. Тонкими вважаються плівки, в яких це відношення складає декілька десятків, для товстих воно може досягати декількох сотень і більше. Всі плівки-адсорбенти повинні володіти великою питомою поверхнею (поверхнею, що припадає на одиницю об'єму адсорбента); відповідно, зміна електропровідності чутливих елементів при адсорбції на них газів тим більша, чим більша їх питома поверхня. Окрім того, напівпровідникові оксиди повинні мати достатню хімічну стійкість, не утворювати сполук з адсорбованими молекулами і володіти термічною та механічною міцністю.

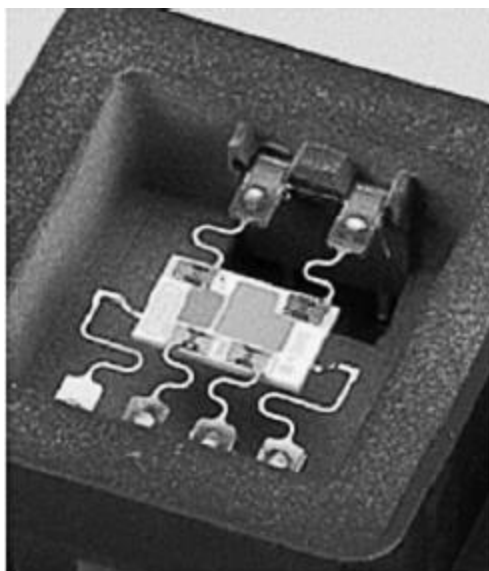


Рисунок 1.20. – Товстоплівковий сенсор, виготовлений за допомогою технології трафаретного друку [17]

Напівпровідникові сенсори широко використовуються в різних практичних задачах і більш доступні. Принцип дії таких сенсорів полягає на зміні провідності ряду широкозонних напівпровідників на основі оксидів Pb, Zn, Ti, W, In, Ir, легованих металами з каталітичними властивостями (паладій, платина) за високої температури та наявності досліджуваних газів.

В загальному випадку реакція взаємодії молекул газу з чутливим шаром відбувається як на поверхні, так і в об'ємі. З урахуванням граничних умов для дифузійних процесів в об'ємі другий закон Фіка має вигляд [3]:

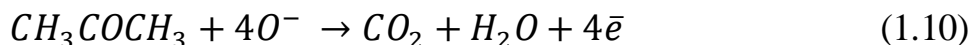
$$\frac{\partial N(x,t)}{\partial t} = D^2 \left(\frac{\partial^2 N}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 N}{\partial z^2} \right) \quad (1.8)$$

де $N(x,t)$ – концентрація дифундуючих часток; x, y, z – координати дифузії; t – час; D – коефіцієнт дифузії.

Електропровідність високодисперсних матеріалів на основі оксидів металів в значній мірі визначається природою газового середовища. Якщо напівпровідник n – типу знаходиться в повітрі, то хемосорбція молекул кисню приводить до зниження електропровідності через зменшення концентрації електронів (σ_0):



При потраплянні в повітряне середовище газів - відновників і сорбції цих газів на поверхні напівпровідника відбувається окисно – відновний процес, в результаті якого електрони повертаються в напівпровідник і його електропровідність підвищується. Наприклад, при сорбції ацетону можуть відбуватися наступні процеси його окислення:



В якості аналітичного сигналу зазвичай розглядається відносна різниця електропровідностей $(\sigma - \sigma_0) / \sigma_0$.

Температурні режими:

- 1) стаціонарний – температура сенсора 300 °C,

2) імпульсний – різкий нагрів до 450 °С (3 с) з подальшим охолодженням до 100 °С (12 с). [17]

Таблиця 1.3 – Чутливість і межі детектування металоксидних напівпровідникових сенсорів при визначенні концентрації ацетону [17]

Вид сенсора, режим роботи	Чутливість, (в.о.*м³)/Г	Межа детектування, мг/м³
SnO ₂ /Pd (імпульси)	12.2	0.2*
SnO ₂ /Pd (стаціонар)	0.91	1.5*
SnO ₂ /(Pd+Pt) (імпульси)	18.4	0.5*
SnO ₂ /(Sb+La) (стаціонар)	2.73	13

(*Примітка. В зв'язку з складністю створення сертифікованих газових сумішей з концентрацією аналіта менше 1мг/м³ представленні оціночні дані межі детектування. Похибка задання надмалих концентрацій аналіта може бути порівнянна з похибкою метода аналізу.)

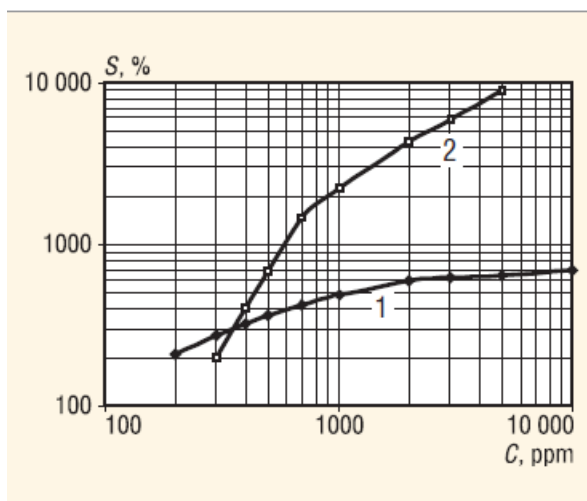


Рисунок 1.21. – Залежність відносної газової чутливості металоксидних сенсорів від концентрації парів етилового спирту (1) і парів ацетону (2) в повітрі за сталої температури.

Актуальність медичних сенсорів для ацетону.

Таблиця 1.4 – Фізіологічний вплив ацетону на організм людини.

Вплив	Концентрація ацетону, мг/л
Поріг сприйняття запаху	0.0011
Електрокортикальний умовний рефлекс	0.44
При вдиханні протягом 3 – 5хв. відбувається подразнення слизових оболонок очей, носа в горла	1.2
При вдиханні протягом 6 годин, підвищується активність холінестерази крові та коефіцієнт використання кисню	0.01
Збільшення вмісту кетонових тіл в крові	0.001

Хвороби які пов'язані зі зміною рівня ацетону в організмі людини (крові, сечі, видихуваному повітрі):

- кетоз (ацетонемія, ацетонемічний синдром) – це метаболічний стан, при якому більша кількість енергії організму забезпечується кетоновими тілами, на відміну від стану гліколізу, під час якого енергія забезпечується глюкозою в крові, а також специфічна патологічна реакція організму людини, пов'язана з перевищенням допустимої концентрації в плазмі крові кетонових тіл на фоні розладу фізіологічних процесів обміну, в основному пуринового обміну, коли в організмі спостерігається підвищена концентрація сечової кислоти.

- кетацидоз – патологічний стан організму, при якому спостерігається висока концентрація кетонових тіл, що формуються внаслідок активного

розчеплення жирних кислот та дезамінуванням амінокислот. При кетоацидозі утворюється переважно ацетонна кислота та β -гидроксибутират. Гостре ускладнення цукрового діабету, переважно 1-го типу, причиною якого можуть бути абсолютна або відносна нестача інсуліну внаслідок несвоєчасної діагностики цукрового діабету або недостатнього чи нерегулярного введення інсуліну. Кетоацидоз також може виникати внаслідок отруєння алкоголем. Причиною можуть також бути гострі та хронічні інфекції, травми.

- цукровий діабет – сукупність ендокринних захворювань, що розвиваються внаслідок абсолютної чи відносної недостатності гормону інсуліну.

Висновки до розділу 1

Органи чуття людини, як з часом стало зрозуміло, в загальному обмежені і недосконалі. Тому нам на допомогу приходить така наука як сенсорика, а також достатньо нове відкриття ППР. За допомогою ППР–сенсорів з'явилися нові способи вивчення взаємодії молекул і хімічних радикалів з ферментами, антитілами, вірусами, живими клітинами.

В крові нормою концентрації ацетону вважається 1 – 2 мг/100мл (0.01 – 0.02 мг/мл), в добовій кількості сечі 0.01 – 0.03 г. При порушеннях обміну речовин, наприклад при цукровому діабеті, в сечі та крові підвищується концентрація ацетону. Незначна частина ацетону перетворюється в вуглекислий газ, який виділяється з видихуванім повітрям. Деяка кількість ацетону виділяється з організму в незмінному вигляді в видихуваному повітрі і через шкіру, а деяка з сечею. Швидке і точне детектування ацетону необхідне, для своєчасного попередження вищенаведених захворювань, а також контролю їх перебігу.

РОЗДІЛ 2: РОЗРОБКА СЕНСОРНОЇ СИСТЕМИ

2.1. Розробка принципової схеми сенсорної системи.

На рисунку 2.1 представлена спроектована блок-схема сенсорної системи, перевагами якої є: простота конструкції, швидкість виготовлення, надійність, мала вартість, в порівнянні з аналогами. Обраний саме такий набір елементів тому, що він має мінімально необхідні складові для точного, швидкого та зручного вимірювання. Складовими які спрощують роботи з сенсором являються мультиплексор і конвертер інтерфейсу, всі інші функціональні блоки є необхідними.

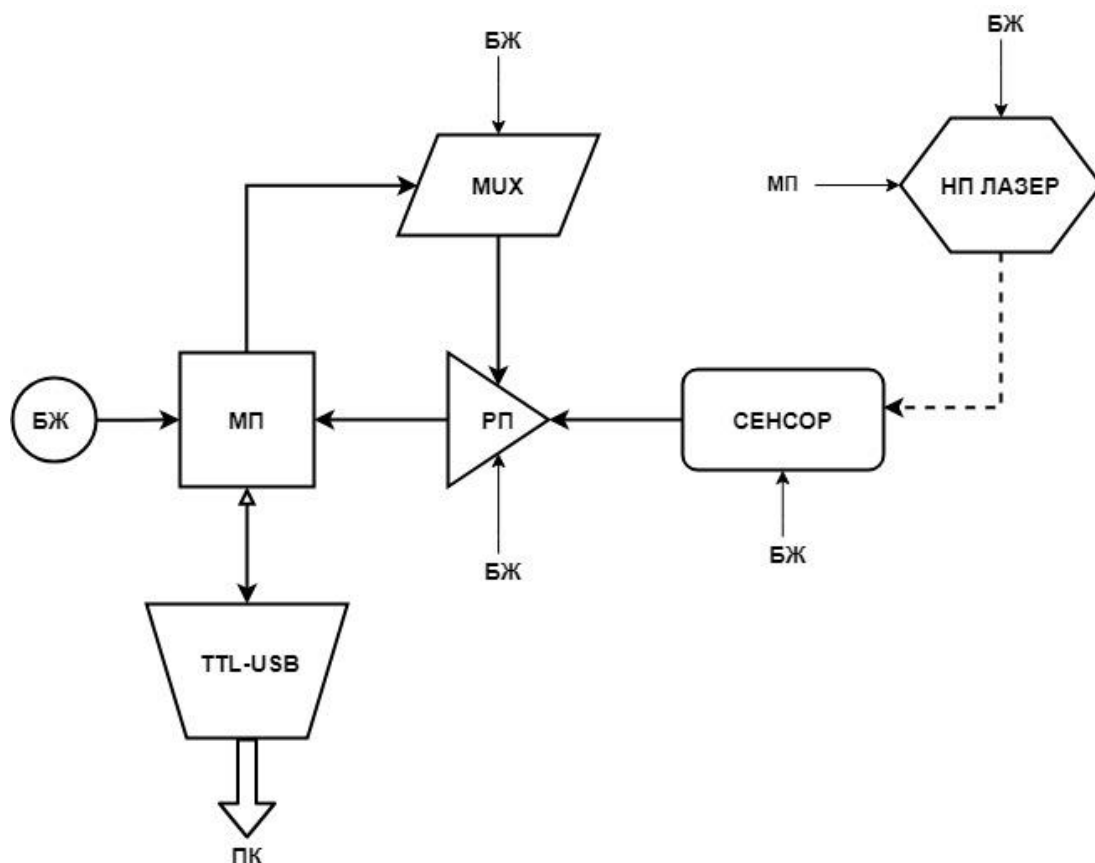


Рисунок 2.1. – Блок - схема сенсорної системи

Пристрій складається з:

1. БЖ – блок живлення (джерело постійної напруги).
2. МП – мікропроцесор (Atmega328), використовується для обробки прийнятого сигналу, модуляції лазера, передачі на ПК оброблених даних.
3. РП – резонансний підсилювач. Потрібний для підсилення сигналу від сенсора який має відносно невелику амплітуду.
4. Сенсор – чутливий елемент, з плівкою селективною до ацетону.
5. НП лазер – напівпровідниковий лазер. Лазер червоного спектру, який засвічує поверхню сенсора. Лазер керується через мікроконтролер, за допомогою подання ШИМ імпульсу на транзистор який живить сам лазер.
6. TTL – USB - конвертер інтерфейсу, для обміну даними між МП і ПК (CH340).
7. MUX – мультиплексор, потрібний для калібрування приладу (зміною коефіцієнта підсилення РП)
8. ПК – портативний комп'ютер. Використовується для візуалізації і подальшої обробки отриманих даних з МП.

Перш за все була проаналізована схема підсилювача з високим вхідним імпедансом для обраного нами ОП - AD8544S. На рисунку 2.2 представлена принципова схема для підключення сенсорів з високим вхідним імпедансом [6].

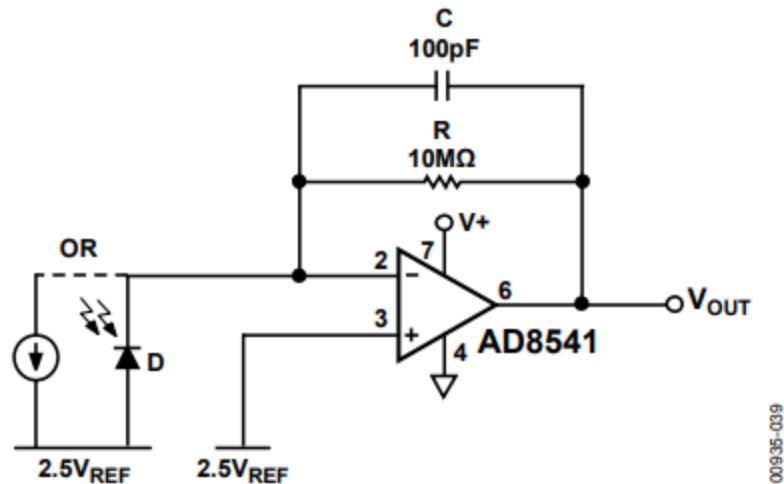


Рисунок 2.2. – Схема підсилювача з високим вхідним імпедансом [18]

На рисунку 2.3 представлена принципова схема підсилювача розроблена в ПЗ Proteus.

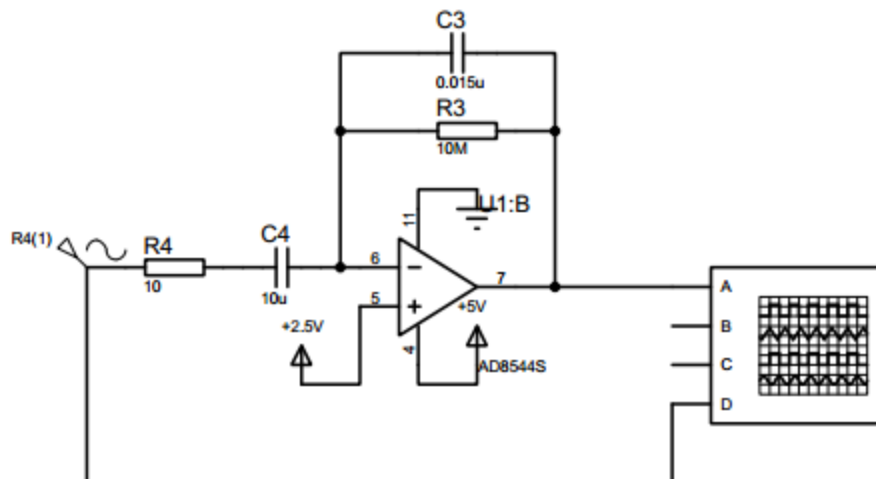


Рисунок 2.3. – Схема підсилювача розроблена в ПЗ Proteus

Вибір саме такої схеми основного модуля сенсорної системи ґрунтується на тому, що розроблений сенсор має високий імпеданс, тому для узгодження роботи його та системи підсилення потрібна схема з узгодженням опорів каскадів.

Підключення мультиплексора до ОП.

На рисунку 2.4 представлена схема підключення аналогового мультиплексора до операційного підсилювача. Аналоговий мультиплексор забезпечує підключення необхідного опору зворотного зв'язку для ОП, що дає змогу здійснювати програмне керування коефіцієнтом підсилення.

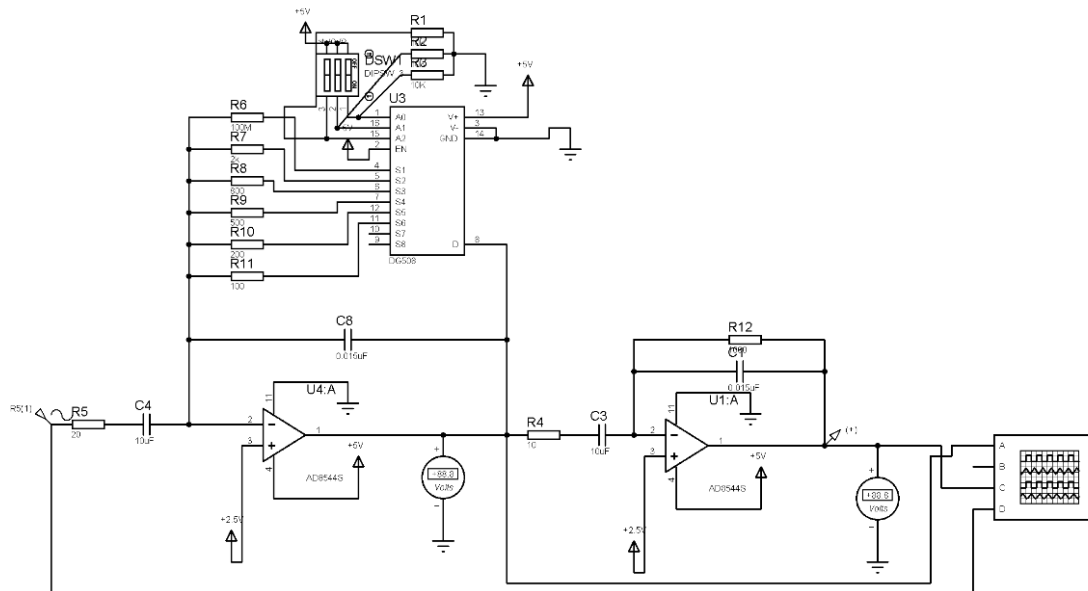


Рисунок 2.4. – Схема підключення MUX до ОП

Загальна принципова електрична схема представлена в Додатку 1.

2.2 Симуляція роботи приладу в ПЗ Proteus

На рисунку 2.5. приведений результат симуляції роботи схеми представленої на рисунку 2.3..

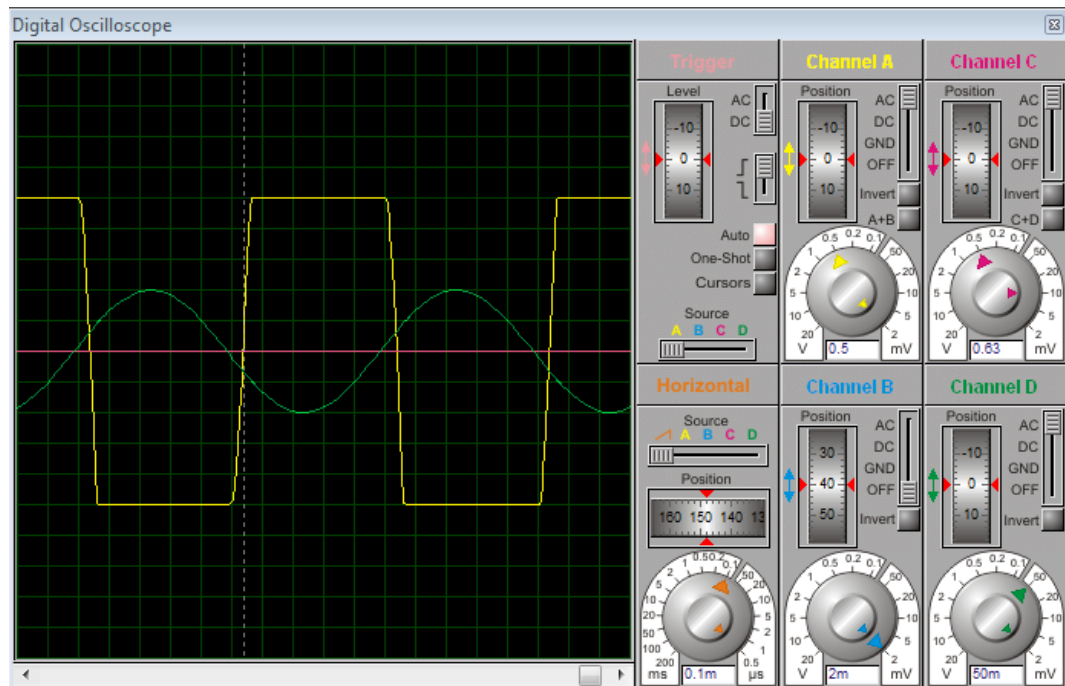


Рисунок 2.5. – Осцилограма симуляції роботи підсилювача.

На рисунку 2.5 зображена осцилограма, вхідний сигнал має амплітуду 100 мВ, в той час коли вихідний сигнал має іншу форму (зумовлену роботою ОП), а також його амплітуда рівна 2.5 В це означає, що в такому режимі роботи коефіцієнт підсилення ОП рівний 25 – що є дуже гарним результатом.

2.3. Проектування та виготовлення друкованої плати

Для виготовлення друкованої плати приладу, був використаний метод фрезерування. Даний метод має такі переваги:

- швидкість виготовлення друкованої плати;
- повністю автоматизований процес виготовлення.

Але метод має такі недоліки:

- менша точність, ніж у хімічних методів (обумовлена товщиною інструмента, люфтами в станку);
- менша швидкість масового виготовлення друкованих плат.

При виготовленні друкованої плати був використаний 2х шаровий текстоліт.

Після проектування схеми, була розведена друкована плата. Для цього файли були експортовані в універсальний Gerber формат, який в подальшому йде в спеціалізоване ПО для станка. Оскільки станок сприймає тільки готовий G-code, потрібно конвертувати Gerber в G-code.

Таблиця 2.1 – Параметри роботи станка з різним інструментом.

№	Інструмент	Діаметр, мм	Подача, мм/хв	Оберти, об/хв	Кінцева глибина, мм
1	Фреза	0,1	250	10000	0,06
2	Свердло №1	0,6	80	10000	1,5
3	Свердло №2	0,9	150	10000	1,5
4	Фреза відрізна	1,2	100	10000	1,5

Gerber – файловий формат, який є способом описання проекту друкованої плати для виготовлення фотошаблонів на різному обладнанні. Практично всі сучасні САПР для електроніки дозволяють генерувати вихідні файли в форматі Gerber, з іншої сторони – майже все сучасне обладнання дозволяє зчитувати данні в цьому форматі. По суті Gerber-файл являє собою текстове описання послідовності команд, направлених на промальовування різних елементів топології (контактних поверхонь, перехідних отворів, ліній, дуг, текстових написів) [19].

G-код – умовна назва мови програмування пристроїв з ЧПУ. G-код був затверджений як стандарт ISO 6983-1:2009, а також як ГОСТ 20999-83.

```

M3 S10000(увімкнення обертання шпинделя за годинниковою стрілкою 10000об/хв.)
G00 X57 Y62 (позиціонування по X, Y на 1-й отвір)
M98 P112 (вирізання 1-го отвору)
G00 X104 Y76 (позиціонування по X, Y на 2-й отвір)
M98 P112 (вирізання 2-го отвору)
M02 (кінець програми)

```

Рисунок 2.6. – Приклад G-коду свердління двох отворів



Рисунок 2.7. – Зовнішній вигляд інструмента №1 (фреза із вольфрамової сталі) [20]



Рисунок 2.8. – Зовнішній вигляд інструмента №2 (свердло із вольфрамової сталі) [20]



Рисунок 2.9. – Зовнішній вигляд інструмента №4 (фреза з титановим покриттям) [20]

2.4. Алгоритм роботи системи.

Програма для МП повинна включати в себе реалізацію таких функцій:

1. Модуляція НП лазера прямокутними імпульсами заданої частоти (1кГц), для уникнення засвічування сенсора. Синхронне детектування.
2. Зчитування показників сенсора та їх первинна обробка: АЦП перетворення, фільтрація шумів, визначення зсуву від еталонної кривої резонансу.
3. Передача показників сенсора в реальному часі на ПК для подальшої обробки, збереження, аналізу отриманих даних.
4. Можливість налаштування коефіцієнта підсилення ОП за допомогою мультиплексора, реалізованого на мікросхемі CD4051.

Алгоритм роботи повинен бути достатньо гнучким для введення нових функцій, які зможуть покращити точність приладу (наприклад калібрування за температурою, впровадження системи термостабілізації).

Повний лістинг програми, написаний на мові програмування C/C++ в середовищі Visual Studio 2017, з використанням розширення vMicro (який ґрунується на Wiring), для МК наведений в Додатку 4.

Для обміну даними між ПК і МК використовується інтерфейс UART (універсальний асинхронний приймач/передавач). Режим швидкості передачі/прийому даних встановлений на рівні 115200 Бод. Бод – міжнародна одиниця швидкості телеграфування; визначається кількістю елементарних імпульсів, переданих за 1 с.

Програма для ПК повинна включати в себе реалізацію таких функцій:

1. Моніторинг стану системи (активності).
2. Зручний і зрозумілий інтерфейс для користувача.

3. Можливість вибору режиму роботи сенсорної системи, через налаштування коефіцієнту підсилення.

4. Експорт вимірних даних в зручному, для подальшої обробки вигляді.

В межах дипломного проектування, мною була розроблена програма, для ОС Windows, керуванням сенсорної системи. Дана програма була написана в ICP Processing.

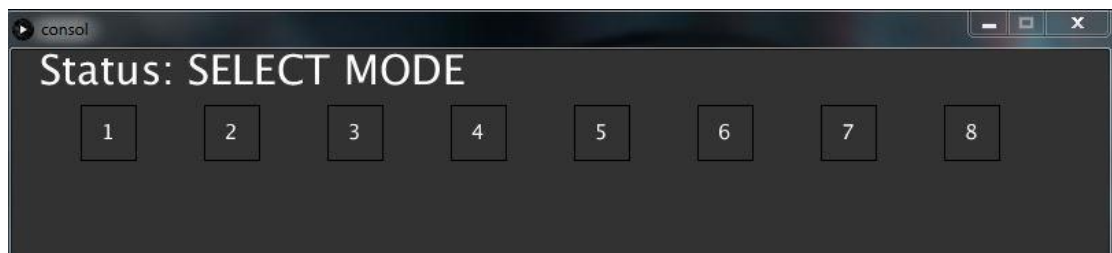


Рисунок 2.10. – Зовнішній вигляд вікна програми при її увімкненні

Програма пропонує обрати режим роботи, який являє собою вибір коефіцієнта підсилення ОП. Існує 8 режимів роботи, комутація 8ми різних опорів для зворотного зв'язку: 100 Ом, 200 Ом, 510 Ом, 820 Ом, 2 кОм, 51 кОм, 100 кОм, 10 МОм.

Після вибору режиму роботи, програма буде чекати поки користувач натисне на приладі кнопку «Старт».

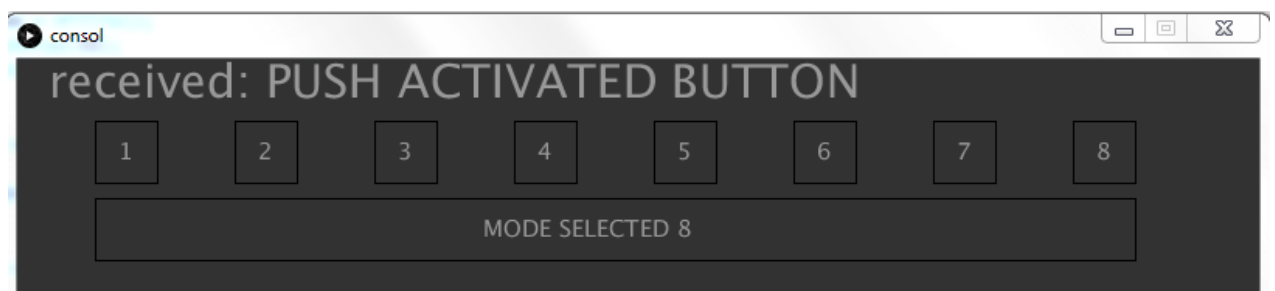


Рисунок 2.11. – Інтерфейс програми після вибору режиму роботи.

На рисунку 2.11 можна побачити обраний режим вимірювань, а також очікування МК і ПК натискання кнопки «Старт» користувачем.

Після натискання кнопки, програма буде виводити вимірювані значення, а також експортувати їх в файл на ПК у вигляді таблиці, в якій записані такі

параметри: номер ітерації, виміряне значення, час. Ці дані потрібні для того щоб в подальшому обробити отримані покази приладу.

Таблиця 2.2 – Приклад експортованої таблиці на 2 ітерації.

	Значення	Час, мс
	102	2
	150	4

Оскільки мікроконтролер має 10 бітний АЦП/ЦАП, у нашому випадку для зняття показів використовується АЦП, значення яке можна отримати лежить у проміжку між 0 і 1023.

$$2^{10} = 1024 \quad (2.1)$$

Максимальне значення 1023 відповідає потенціалу на піні контролера в 5 В. Знайдемо найменше значення напруги, яке можна виміряти:

$$\frac{5 \text{ В}}{2^{10}} = 0,00488 \text{ В} \quad (2.2)$$

Тобто мінімальне значення, яке зможе розпізнати АЦП це 4,88 мВ.

Висновки до розділу 3

Розроблена сенсорна система та програмне забезпечення для неї є досить гнучкими, оскільки дозволяють швидко змінити режим роботи приладу, кількість вимірювань (ітерацій), час проведення вимірювань.

Для покращення роботи приладу потрібно використовувати АЦП з більшою розрядністю, кількість рівнів квантування стане більшою, і точність вимірювань виросте, а також перейти на мікроконтролер з більшою робочою частотою, що вплине на збільшення частоти дискретизації вимірів.

РОЗДІЛ 3: ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ АЦЕТОНУ

3.1. Калібрування.

Дану процедуру необхідно виконувати перед кожною серією вимірювань, а також виконувати очищення поверхні сенсора перед кожним незалежним вимірюванням. Необхідність таких заходів, пояснюється необхідністю отримання більш точних результатів вимірювань, зменшення ймовірності отримати хибні покази.

Алгоритм калібрування приладу:

- 1) Хімічне очищення поверхні сенсора, або ж його заміна, якщо його ресурс вичерпано.
- 2) Хімічне очищення камери, в якій проводиться аналіз суміші повітря на вміст ацетону.
- 3) Введення пробної суміші газу, з завчасно відомою концентрацією, зняття показів.
- 4) Повторна повна очистка приладу.
- 5) Внесення поправки на температуру зовнішнього середовища.

3.2. Вимірювання концентрації ацетону в газових сумішах та обробка результатів

В таблиці таблиці 3.1 наведені результати вимірювань для концентрацій 6000ppm, 12000ppm, 20000ppm. Маючи ці результати, а також результати для концентрацій 30000 ppm, 40000 ppm, 50000 ppm, 60000 ppm, 70000 ppm,

75000 ppm можемо вирахувати зсув резонансної кривої, скласти таблицю і побудувати графік.

Таблиця 3.1 – Результати вимірювань для 10-ти концентрацій

i	0 ppm	6k ppm	12k ppm	20k ppm	30k ppm	40k ppm	50k ppm	60k ppm	70k ppm	75k ppm
1	532	532								
2	530	530	531							
3	520	529	529	529	529					
4	502	517	523	525	527	528				
5	485	503	515	518	523	527	529			
6	462	482	503	510	517	525	528	529		
7	427	456	487	496	510	520	527	528	529	
8	392	422	465	481	502	513	525	527	528	530
9	354	395	445	465	491	505	521	525	527	529
10	305	358	423	446	476	495	513	521	525	528
11	<u>294</u>	326	391	429	460	483	503	515	523	527
12	306	296	357	405	442	466	489	508	521	526
13	346	<u>287</u>	321	381	419	446	473	497	515	522
14	371	297	289	349	397	423	452	481	503	517
15	388	315	<u>280</u>	309	371	401	431	466	489	505
16	406	342	291	273	341	379	409	445	471	486
17	423	364	315	<u>266</u>	315	352	387	423	453	468
18	439	384	333	274	285	327	365	403	435	449
19	452	402	351	294	261	299	343	381	411	425
20	461	423	366	315	<u>252</u>	273	319	355	387	402
21	472	437	381	331	257	251	295	330	364	379
22	480	449	395	349	273	236	271	307	342	355
23	489	459	410	367	295	<u>231</u>	248	278	315	329
24	497	471	422	381	315	234	230	253	287	301

25	504	479	436	396	335	246	221	231	255	270
26	509	487	447	408	354	269	<u>217</u>	209	224	237
27	514	495	455	419	370	292	220	197	196	201
28	518	501	463	431	387	315	234	190	170	168
29	522	507	472	442	401	341	256	<u>189</u>	151	135
30	526	514	481	451	415	365	282	195	139	100
31	529	517	490	462	428	385	313	209	130	85
32	530	521	495	471	440	399	333	231	<u>126</u>	76
33	531	523	503	479	451	412	349	258	132	<u>74</u>
34	532	527	507	484	460	423	367	287	149	80
35	533	528	513	491	468	435	383	309	177	95
36	534	530	518	498	476	444	398	331	215	112
37	535	531	523	504	484	453	412	348	251	134
38	536	533	527	511	491	461	424	364	278	159
39	536	534	529	516	499	469	436	377	300	187
40	536	536	531	519	504	475	447	391	321	225
41		536	534	523	509	482	457	405	338	261
42		536	535	527	515	489	466	418	356	288
43			536	531	521	495	473	429	371	310
44			536	534	525	501	481	438	385	331
45			536	536	528	506	488	447	398	348
46				536	530	511	495	455	410	366
47				536	532	515	501	462	421	381
48					533	520	509	470	432	395
49					534	526	514	476	442	408
50					535	529	519	483	452	420
51					536	533	523	490	461	431
52						534	528	497	470	442
53						535	531	505	478	452

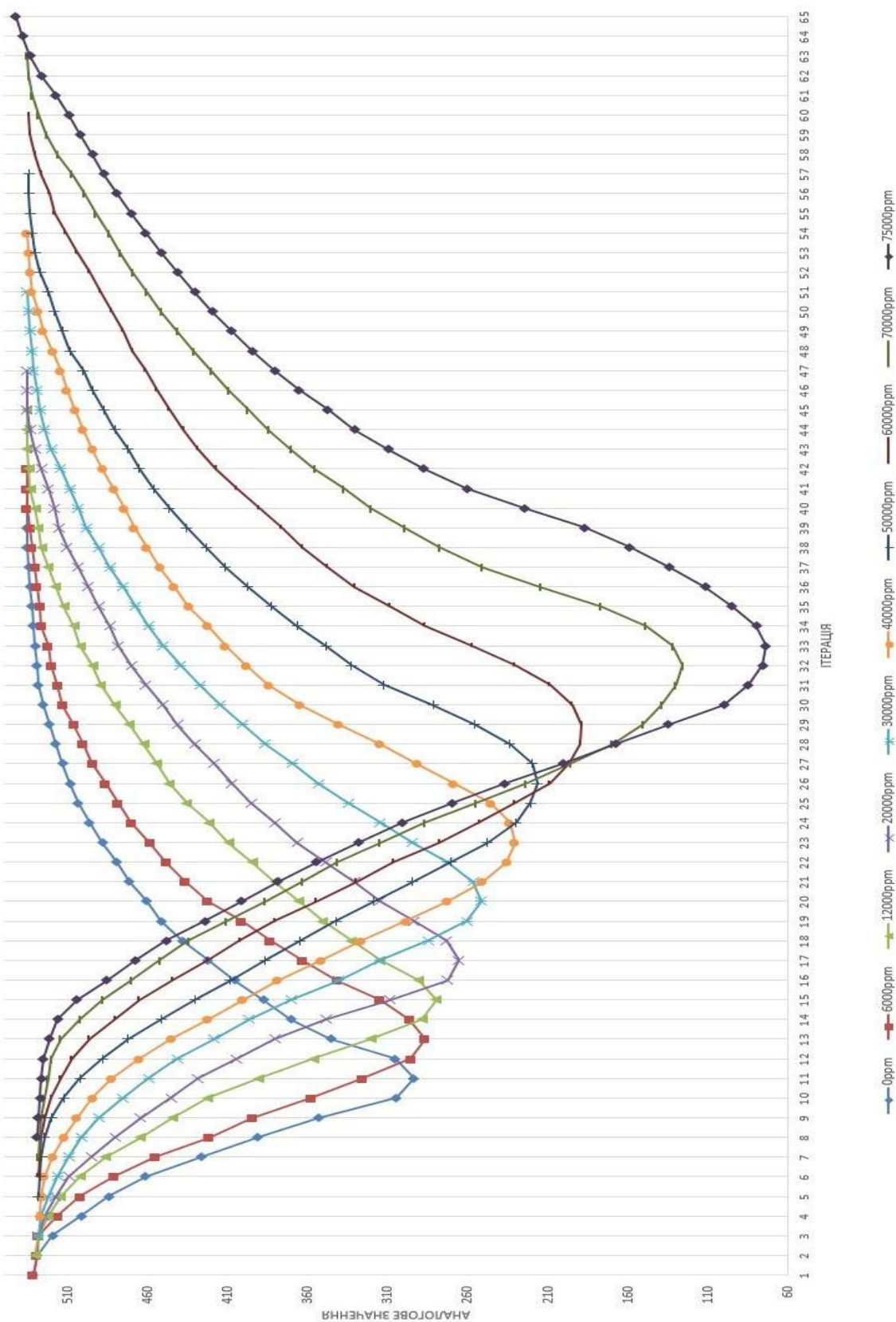


Рисунок 3.1. – Графік залежності отриманого аналогового значення від часу (ітерації).

Отримуємо мінімальний поріг детектування 6000ppm.

З досліджень проведених раніше на етапі бакалаврського дипломного проектування, була встановлена залежність зсуву резонансного кута від зміщення амплітуди резонансних коливань.

В таблиці 3.2: наведені результати обчислень зсуву резонансного кута, в залежності від концентрації ацетону в досліджуваному повітрі.

Таблиця 3.2 – Залежність зсуву резонансного кута від концентрації

Концентрація, ppm	Зсув, °
0	0
6000	0,05
12000	0,1
20000	0,2
30000	0,3
40000	0,45
50000	0,55
60000	0,75
70000	1,2
75000	1,9

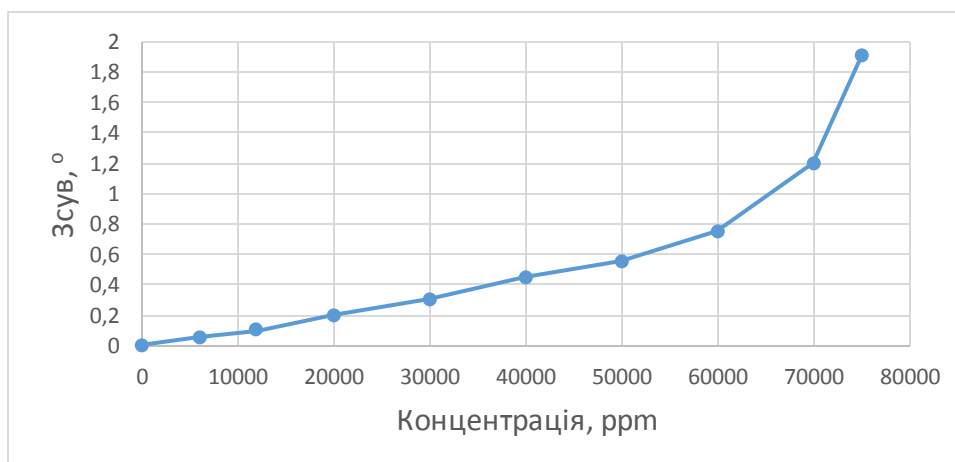


Рисунок 3.2. – Графік залежності зсуву резонансного кута від концентрації ацетону в повітрі

Висновки до розділу 3

Оскільки поріг сприйняття запаху ацетону людиною становить 0,0011 мг/л, що в переводі на концентрацію дає нам 4600 ppm, а поріг детектування приладу – 6000 ppm. Подразнення очей, носа та горла відбувається коли концентрація в 100 разів більша за поріг сприйняття запаху. Тобто даний прилад зможе виміряти концентрацію швидко, ще до того як настане стадія подразнення слизових оболонок людини.

Для максимальної концентрації, яка досліджувалась – 75000 ppm, зміщення резонансного кута становить 1.9° , а також спад амплітуди резонансу становить 220 у.о.. На приведених в додатку 7 графіках видно, як зі збільшенням концентрації ацетону в суміші збільшується час спаду графіка – оскільки ацетон довше абсорбується чутливою плівкою на поверхні сенсора, а також видно більший час відновлення сенсора – оскільки потрібно вивести більшу кількість абсорбованого ацетону з поверхні сенсора.

РОЗДІЛ 4: РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

4.1 Опис ідеї проекту

Таблиця 4.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Виготовлення ППР-сенсорів селективних до різних газів, а також виготовлення сенсорних систем для даних сенсорів.	1. Детектування наявності потрібного газу в сумішах	Покращення точності вимірювань
	2. Медицина	Швидкість вимірювань
	3. Індивідуальне користування	Простота у використанні прилад
	4. Використання на виробництві	Використання на ринку компаній масового виробництва СЕ

Таблиця 4.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Конкурент 1	Конкурент 2	Конкурент 3			
1.	Економічні	1000 у.о.	3100 у.о.	7000 у.о.	100 у.о.		+	
2.	Призначення	Прилад для вимірювання концентрації газу в суміші	Глюкометр «Freestyle Libre»	Глюкометр «Enlite»	Н/п газовий сенсор MQ138 для толуола/ацетона/алкоголю/водню	+		
3.	Надійності	Простота конструкції збільшує напрацювання на відмову	Гарантія від виробника, лінійка зарекомендованої продукції	Неперервний моніторинг глюкози	Може працювати в більш агресивному середовищі		+	
4.	Технологічні	Працює в умовах розчину з травниками и кремнію,	Працює в умовах розчину з травниками и кремнію,	Працює в умовах розчину з травниками и кремнію,	Працює в умовах розчину з травниками и кремнію,		+	

		повинен зберігатися в спеціальній упаковці	повинен зберігатися в спеціальній упаковці	повинен зберігатися в спеціальній упаковці	повинен зберігатися в спеціальній упаковці			
5.	Ергономічні	Неінвазивний сенсор	Неінвазивний сенсор	Інвазивний сенсор	Потребує спеціальних навичок у використанні		+	
6.	Органолептичні	-	-	-	-		+	
7.	Естетичні	Зручний та зрозуміла інструкція для використання	Зручний та зрозуміла інструкція для використання	Зручний та зрозуміла інструкція для використання	Зручний та зрозуміла інструкція для використання		+	
8.	Транспортабельності	Поставляється в паперовій упаковці	Поставляється в паперовій упаковці	Поставляється в паперовій упаковці	Поставляється в паперовій упаковці		+	
9.	Екологічності	-	-	-	-		+	
10.	Безпеки	Безпечно	Безпечно	Безпечно	Безпечно		+	

Конкурент 1: Глюкометр «Freestyle Libre».

Конкурент 2: Глюкометр «Enlite».

Конкурент 3: Газовий сенсор для ацетону «Winsen MQ138».

4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Таблиця 4.3 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Сенсорна система для вимірювання концентрації газу в суміші	Виготовлення плати хімічним травленням	Наявна, але є потенціал для покращення (виготовлення маски з високою роздільною здатністю)	Доступна, але немає достатнього виробничого досвіду
		Виготовлення плати фрезеруванням	Наявна, менш затратна в часі, дає змогу швидко робити малу кількість екземплярів	Доступна, потребує менше часу для виготовлення
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Виготовлення плати фрезеруванням.				

4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Таблиця 4.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	5
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	10000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Немає
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Робота з шкідливими речовинами
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	200

Ринок є привабливим для входження.

Таблиця 4.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
	Необхідність виготовлення мультисенсорних систем, а також виготовлення неінвазивних глюкометрів	Державні установи, промисловість всіх типів, індивідуальне користування.	Поведінку клієнта формує сучасний ринок сенсорів, витрати на їх купівлю та експлуатацію, складність експлуатації.	Пристрій повинен використовуватись за своїм цільовим призначенням і тільки. Компанія постачальник має надавати гарантійний період на прилад, а також надати інструкцію по експлуатації.

Таблиця 4.6 – Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Наявність кваліфікованих кадрів	Виготовлення продукту потребує ґрунтовних знань, як в сфері електроніки так і в	Пошук персоналу у науково-дослідних інститутах та організаціях

		сфері медицини	
--	--	----------------	--

Таблиця 4.7 – Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Конкуренція	Стимулює виробників до розробки неінвазивних глюкометрів, а також виготовлення мультисенсорів	Покращення робочих характеристик даного продукту
2.	Попит	Наявність попиту, обумовлена великою необхідністю детектування різних газів в сумішах	Якісні характеристики приладу, виступатимуть його сильною стороною

Таблиця 4.8 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Вказати тип конкуренції олігополія, нецінова	На ринку присутня велика кількість фірм, які займаються виробництвом і розробкою сенсорів, кожна фірма має свою цінову і якісну політику	Підвищення якості товару, шляхом підвищення простоти використання приладу, а також збільшення його точності вимірювання
2. За рівнем конкурентної боротьби інтернаціональний	Місцезнаходження компаній необмежене територіально	Закупівля більш дешевих компонентів, з найменшою втратою якості готового продукту
3. За галузевою ознакою внутрішньогалузева	Економічна боротьба між різними товаровиробниками, які діють в одній галузі економіки, виробляють і реалізують однакові товари, що задовольняють одну й ту саму потребу, але мають відмінності у виробничих затратах, якості, ціні, тощо.	Слідкувати за продуктами конкурентів
4. Конкуренція за видами товарів: - товарно-видова	Конкуренція між товарами одного виду	Покращувати якість товару
5. За характером конкурентних переваг - цінова	Передбачає продаж продукції за більш низькими цінами, ніж конкуренти.	Продавати товар за низькою ціною.
6. За інтенсивністю - марочна	Боротьба носить явно виражений марочний характер, велике значення набуває брендинг	Реклама товару, створення символіки продукту

Таблиця 4.9 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	«Freestyle Libre», «Enlite», «Winsen»	Немає	Товар продається безпосередньо розробниками	«Якість = Ціна»	Замінників немає
Висновки :	Інтенсивність досить висока, бо продукт є наукоємним і тому не кожна фірма здатна розробити такий продукт	Немає	Постальники не диктують умови роботи на ринку	Товар має бути дешевшим за товари конкурента, з мінімальною втратою якості	Обмежень немає

Для того, щоб бути конкурентоспроможним на ринку для розробки товару потрібно залучати висококваліфікованих спеціалістів у галузі науки та програмування.

Таблиця 4.10 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проєктів значущим)
1.	Ступінь задоволення потреб користувача.	Продукт має мати зручне у використанні ПЗ для ПК, інтуїтивно зрозумілий інтерфейс користувача.
2.	Якість розробки з точки зору оптимальності показників надійності	Продукт має мати високу точність вимірювання (достатню для задоволення конкретного сегменту споживачів).
3.	Наявність наукових ресурсів	Для створення продукту, необхідні науковці, які здатні змоделювати оптимальний режим роботи пристрою, підібрати необхідні плівки за їх селективністю.
4.	Економічний (ціна товару)	Ціна товару має бути задовільна для конкретного сегменту користувачів і підкріплюватись необхідною точністю вимірювання.

Таблиця 4.11 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

№ п/ п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з “Polyariton”						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1.	Ступінь задоволення потреб користувача.	20							+
2.	Якість розробки з точки зору оптимальності показників надійності	18						+	
3.	Наявність наукових ресурсів	15						+	
4.	Економічний (ціна товару)	15						+	

Таблиця 4.12 – SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: економічна (ціна товару).	Слабкі сторони: наукоємність проекту.
Можливості: знижувати витрати на виробництво продукції, покращувати якість продукту; формування попиту у користувачів за рахунок рекламної діяльності.	Загрози: необхідність кваліфікованих кадрів для розробки технологічної концепції товару.

Таблиця 4.13 – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1.	Дослідження поведінки споживачів, пошук наукових ресурсів, розробка програмного забезпечення, створення реклами, взаємодія з органами інтернаціонального менеджменту та ринку збуту для перевірки працездатності хімічного реагенту	80 %	3 роки
2.	Дослідження поведінки споживачів, пошук інвесторів, пошук наукових ресурсів, створення лабораторного обладнання та його закупівля, тестування	60%	4 роки

Обрано альтернативу № 1.

4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Таблиця 4.14 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1.	Промислові компанії, медичні заклади, індивідуальні користувачі	Готові	Високий	Висока	Висока
2.	Приватні підприємства	Не готові	Середній	Середня	Середня
Які цільові групи обрано: обрано цільову групу №1.					

Таблиця 4.15 – Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
1.	1	За рахунок великих можливостей по об'ємах збуту товарів (портфеля укладених контрактів на постачання) і продуктивності підприємство може добитися менших витрат	Витрати на виробництво та закупівлю продуктів	Стратегія лідерства на витратах
2.	2	Надання товару важливих з точки зору споживача відмінних властивостей, які роблять товар відмінним від товарів конкурентів. Така відмінність може базуватися на об'єктивних або суб'єктивних, відчутних і невідчутних	Формування попиту у користувачів за рахунок спеціальної вузько-запатентованої функціональності та високої якості товару	Стратегія диференціації

		властивостях товару бути реальною або уявною.		
--	--	---	--	--

Обрано стратегію диференціації.

Таблиця 4.16 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
1.	Ні	Так	Ні	Виготовлення кращого продукту ніж у конкурентів

Таблиця 4.17 – Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1.	Оптимальне співвідношення ціни – точності, за для задоволення потреб конкретного сегменту користувачів	Диференціа ції.	Ціна відповідає точності вимірювання приладу, чим задовольняє потреби і можливості конкретних сегментів споживачів.	Оптимальне співвідношення ціна/точність(якість), наукоємність, новаторство.

4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Таблиця 4.18 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1.	Мультисенсорне вимірювання складу суміші, неінвазивне вимірювання (заміна інвазивних глюкометрів)	Швидке, точне і просте вимірювання концентрації необхідного газу/газів.	Інтуїтивно зрозуміле програмне забезпечення для користувача. Точність вимірювання відповідає ціні, така характеристика є гнучкою для задоволення потреб цільових сегментів користувачів.

2.	Надійність	Конструктивна простота пристрою.	Простота заміни сенсорного елемента за необхідності.
----	------------	----------------------------------	--

Таблиця 4.19 – Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Сенсорна система для визначення концентрації газу/газів в суміші, неінвазивний сенсор (на заміну інвазивного глюкометра).		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Точне вимірювання концентрації газу/газів в суміші	М	
	2. Низька ціна 1000 у.о.		
	3. Використання алгоритмів корекції результату.	М	
	4. Пристрій, а також програмне забезпечення до нього інтуїтивно просте у використанні.	М	
	5. Безпечний у використанні, не несе шкоди навколишньому середовищу	М	
		М	
III. Товар із підкріпленням	Якість: стандарти безпеки використання електро-приладів ГОСТ 27570.0-87.		
	Пакування: паперова упаковка.		
	Марка: " Polyariton "		
	До продажу: гарантія, надання консультації.		
	Після продажу: доставка, обслуговування.		
	За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: закодований програмний ключ, захист інтелектуальної власності.		

Таблиця 4.20 – Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
	-	100 – 10000у.о.	100000 у.о. і вище	1000 – 1500 у.о.

Таблиця 4.21 – Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
	Замовлення товару	Встановлення	Канал	Виробник

	на сайті компанії виробника, або в спеціалізованих магазинах	контакту, інформування, поділ, зберігання, сортування	нульового рівня	безпосередньо збуває продукцію покупцям
--	---	--	--------------------	--

Таблиця 4.22 – Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання реklamного повідомлення	Концепція реklamного звернення
	Використання товару як на виробництві так і індивідуально	Прямі - канал комунікації, коли інформація передається безпосередньо від інформатора до інформованої особи	Ціна відповідає якості (точності вимірювання), щоб задовольнити потреби цільових сегментів споживачів	Поширення знань про якість продукції, яка відповідає своїй ціні; простота у використанні, як приладу так і програмного забезпечення до нього за необхідності.	Звернення засноване на чесності перед своїми клієнтами. Клієнт має свободу вибору при купівлі продукції, яка залежить від його потреб.

ВИСНОВКИ

1. Спроекована електронна частина сенсорної системи;
2. Розроблена прошивка для мікроконтролера, яка задає алгоритм роботи сенсорної системи;
3. Розроблене програмне забезпечення для портативного ком'ютера, для швидкого освоєння принципів роботи з приладом;
4. Рекомендації до калібрування пристрою;
5. Розроблена маркетингова модель продукту.

ППР-сенсори є достатньо новим класом сенсорів, всі перспективи використання якого ще не повністю розвідані, але їх технологічний потенціал дозволяє сказати, що за ними частина майбутнього такої науки як сенсорика, а також такого сегменту продуктів споживацького ринку як вимірювальні прилади.

Звісно розробка продукту такого класу є наукомісткою справою, необхідно розробити оптимальну конструкцію пристрою, яка матиме достатню точність вимірювань для задоволення попиту конкретного споживача і матиме відповідну ціну.

В дипломній роботі продемонстрував критерії які необхідно враховувати при розробці сенсорної системи такого рівню, яка не просто виміряє концентрацію необхідного газу з суміші, в моєму випадку ацетону, а зможе передати ці дані на ваш портативний ком'ютер або смартфон, для ведення статистики зберігання даних, відслідковування змін. Така структура сенсорної системи є дуже гнучкою, оскільки дозволяє виготовляти прилади для різних споживачів з мінімальними апаратними змінами (наприклад для індивідуального використання споживачу потрібен інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, за умови що його не цікавить принцип роботи пристрою, кількість ітерацій які він робить а також параметри калібрування). А у випадку промислових хімічних підприємств виникає попит на сенсори які визначають концентрацію газу в суміші в реальному часі, а також сигналізують при недопустимих змінах цієї концентрації (така потреба вплине на зміну алгоритму роботи сенсорної системи, що задається

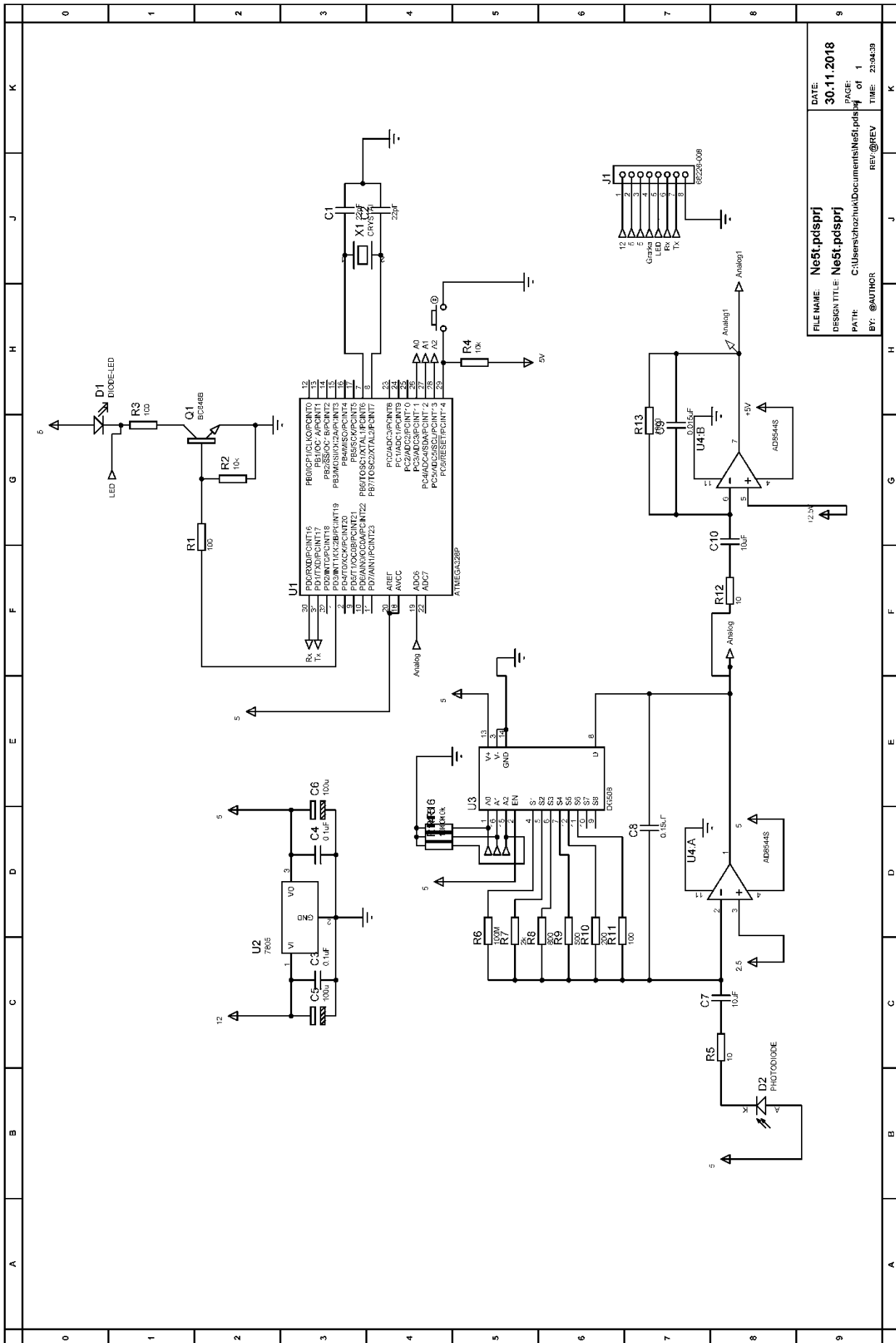
алгоритмом роботи мікроконтролера тобто програмним кодом а не апаратними ресурсами).

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

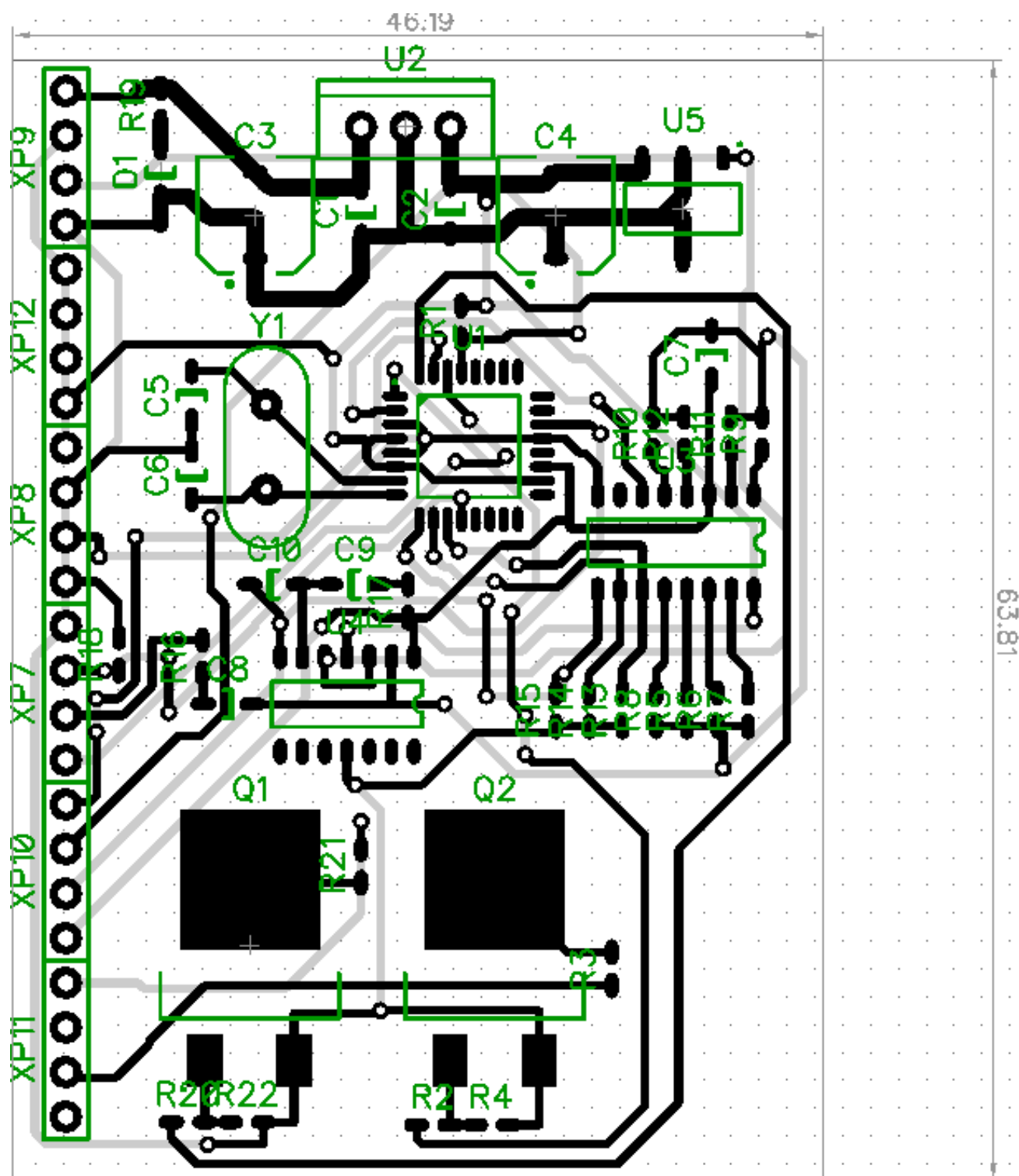
1. Абрикосов А.А. Основы теории металлов. – М.: Наука, 1987.
2. Перлин Е.Ю., Вартанян Т.А., Федоров А.В. Физика твердого тела. Оптика полупроводников, диэлектриков, металлов. Учебное пособие. – Санкт-Петербург: СПбГУ ИТМО. – 2008. – 216 с.
3. Drude P. Zur Elektronentheorie der Metalle. // Ann. Phys. – 1900. – Bd. I. – S.566–613.
4. Ландау Л.Д. О колебаниях электронной плазмы. // ЖЭТФ. – 1946. – Т.16. – С. 574–587.
5. Homola J. Electromagnetic Theory of Surface Plasmons. Berlin. –2006. – P. 3–44.
6. Palik E.D., Ghosh G. Handbook of optical constants of solids. – San Diego: Academic. – 1998.
7. Handbook of Surface Plasmon Resonance. R.B.M. Schasfoort and Anna J. Tudos. – Cambridge. –2008. – 403p.
8. Otto A. Excitation of non-radiative surface plasma waves in silver by the method of frustated total reflection. // Z. Phys. – 1968. – V.216. N.4. –S.398–410.
9. Kretschmann E., Raether H. Zur Plasmarezonans-emission in festen Korper. – 1968. – S.615– 617.
10. Дмитрук Н.Л., Литовченко В.Г., Стрижевский В.Л. Поверхностные поляритоны в полупроводниках и диэлектриках. – Киев: Наукова думка, 1989. – 376с.
11. Knoll W., Kasry A., Liu J., Surface Plasmon Fluorescence techniques for Bioafinity Studies. –2008. – P. 278–282.
12. Kabashin A.V. Laser nanofabrification for biophotonics. // Доклад на конф. в Курчатовском научном центре. – Москва. – 20.02.2008.

13. И.Д. Войтович, В.М. Корсунский Сенсоры на основе плазмонного резонанса. Принципы. Технологии. Применения. НАН Украины, Ин-т кибернетики им. В.М. Глушкова.-К. //Сталь, 2011. – 534с.
14. <https://goo-gl.ru/МК2> // Період доступу 07.12.2018р 14:28.
15. Сорбционные процессы при определении ацетона химическими газовыми сенсорами Звягин А.А., Шапошник А.В., Корчагина С.Н. Воронежский государственный аграрный университет, Воронеж
16. Эггинс Б. Химические и биологические сенсоры / М.: Техносфера. 2005. С.336.
17. Шапошник А.В., Звягин А.А., Васильев А.А., Рябцев С.В., Шапошник Д.А., Назаренко И.Н. Определение оптимальных температурных режимов работы полупроводниковых сенсоров// Сорбционные и хроматографические процессы. 2008. Т.8, Вып.3. С. 501-505.
18. https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD8541_8542_8544.pdf
19. С. Топоров, Проектирование: Вы говорите на Gerber? // научно-технический журнал. 2010. Вып.2. С. 1-4.
20. <http://fractalnost.com.ua/wp-content/uploads/sverla-frezy-dlia-pechatnyh-plat1.pdf>

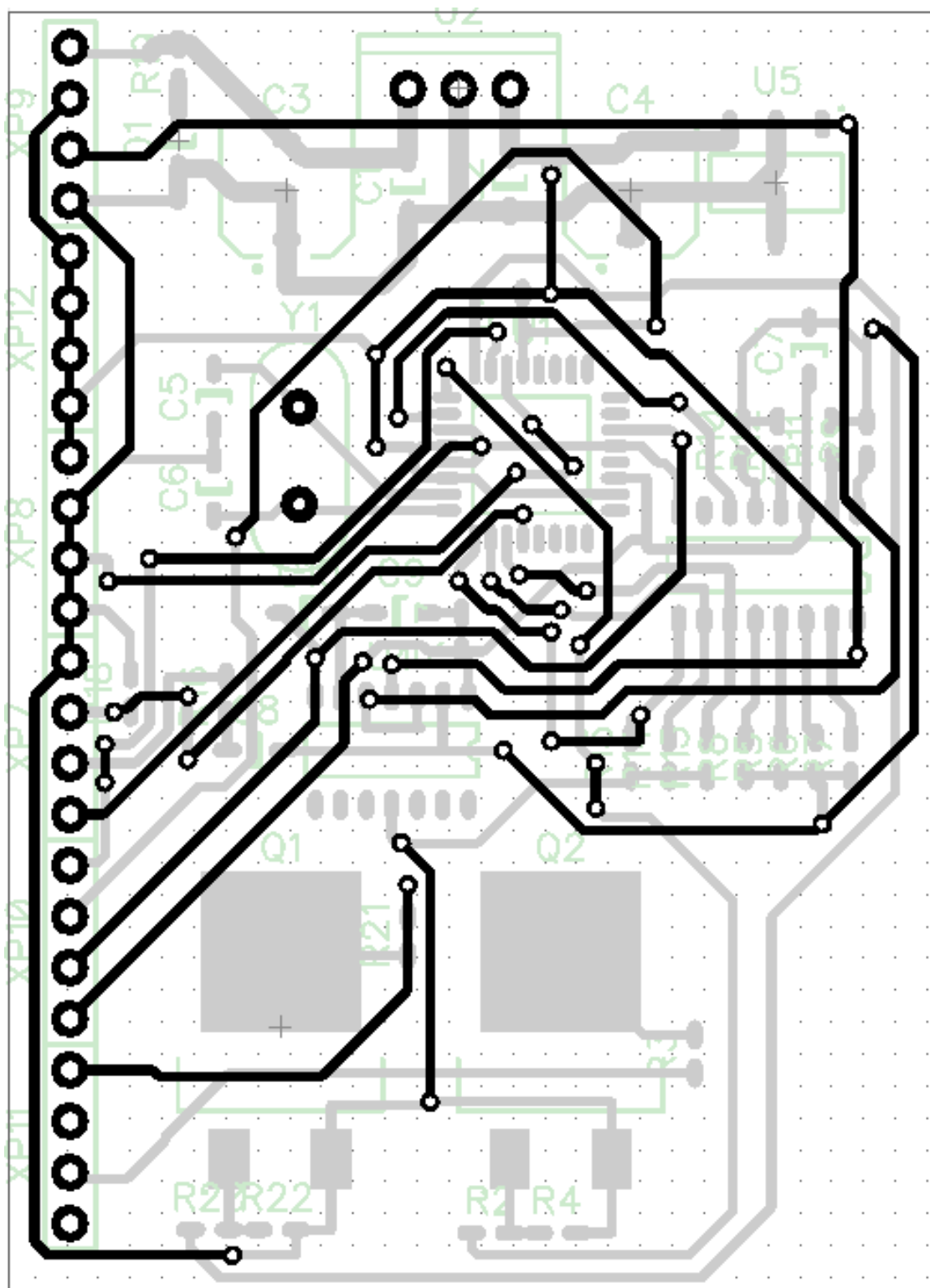
Додаток 1. Схема електрична принципова



Додаток 2. Друкована плата верхній шар



Додаток 3. Друкована плата нижній шар



Додаток 4. Лістинг програми для мікроконтролера

```

/*
  Name:      system.ino
  Created:   02.12.2018 14:19:29
  Author:    Oleksii Ozhozhenko
*/
#include "Bounce2.h"

#define PIN_BUTTON_IN 8
#define PIN_MODULATION_OUT 3
#define PORT_SW_INH_OUT 4
#define PORT_SW_A_OUT 5
#define PORT_SW_B_OUT 6
#define PORT_SW_C_OUT 7
#define PIN_ANALOG_IN A7
#define PIN_ANALOG_SW_IN A6

bool state_button = 0;
int var_1 = 0;
int var_2 = 0;
int state_mode = 0;
int value = 0;
bool counter_1 = 0;
bool counter_2 = 0;
bool counter_3 = 0;
int num_itterations = 40; // num of measurements (кількість ітерацій)
unsigned long time = 0;
int delay_HIGH = 500; // set micros(затримка високого рівня на лазері в мікросекундах)

struct BOUNCE
{
    Bounce PIN_BUTTON_IN = Bounce();
};
BOUNCE bou;

void initialization() // global initialization (глобальна ініціалізація)
{
    pinMode(PIN_BUTTON_IN, INPUT);
    pinMode(PIN_MODULATION_OUT, OUTPUT);
    pinMode(PORT_SW_INH_OUT, OUTPUT);
    pinMode(PORT_SW_A_OUT, OUTPUT);
    pinMode(PORT_SW_B_OUT, OUTPUT);
    pinMode(PORT_SW_C_OUT, OUTPUT);
    pinMode(PIN_ANALOG_IN, INPUT);
    pinMode(PIN_ANALOG_SW_IN, INPUT);

    bou.PIN_BUTTON_IN.attach(PIN_BUTTON_IN);
    bou.PIN_BUTTON_IN.interval(5);
}

bool check_button() // button click monitoring (відслідковування кнопки активації)
{
    bou.PIN_BUTTON_IN.update();

    if (bou.PIN_BUTTON_IN.read())
    {
        state_button = 1;
    }
    else
    {
        state_button = 0;
    }
}

```

```

        return state_button;
    }

    int synchronous_detection()//function synchronous detection (функція синхронного детектування)
    {
        time = micros();
        if (micros() - time < delay_HIGH)
        {
            digitalWrite(PIN_MODULATION_OUT, HIGH);
            var_1 = analogRead(PIN_ANALOG_IN);
            //var_2 = analogRead(PIN_ANALOG_SW_IN);
        }
        else
        {
            digitalWrite(PIN_MODULATION_OUT, LOW);
        }
        return var_1;
        //return var_2;
    }

    int reading(bool state_button) //read and drop function (функція зчитування і виводу в
    послідовний монітор)
    {
        if (state_button)
        {
            counter_1 = 0;
            counter_2 = 0;
            for (int i; i <= num_itterations; i++)
            {
                synchronous_detection();
                Serial.println("var_1 = \t");    Serial.print(var_1);
                Serial.println("var_2 = \t");    Serial.print(var_2);
            }
        }
        else
        {
            if (!counter_2)
            {
                Serial.println("PUSH ACTIVATED BUTTON");
                counter_2 = 1;
            }
        }
    }

    int parsing_string_serial()//selection of the mode of operation and parsing of the series
    serial of the port (вибір режиму роботи і парсинг лінії послідовного потру)
    {
        if (!counter_1)
        {
            Serial.println("SELECT MODE");
            counter_1 = 1;
        }
        if ((Serial.available() > 0) and (Serial.available() <= 8))
        {
            value = Serial.read();
            if (value == '1')
            {
                state_mode = 1;
            }
            else if (value == '2')
            {
                state_mode = 2;
            }
        }
    }

```

```

        else if (value == '3')
        {
            state_mode = 3;
        }
        else if (value == '4')
        {
            state_mode = 4;
        }
        else if (value == '5')
        {
            state_mode = 5;
        }
        else if (value == '6')
        {
            state_mode = 6;
        }
        else if (value == '7')
        {
            state_mode = 7;
        }
        else if (value == '8')
        {
            state_mode = 8;
        }
    }
}

void setup()
{
    Serial.begin(115200);
    initialization();
}

void loop()
{
    check_button();
    parsing_string_serial();
    switch (state_mode)
    {
        case 1: //000
            digitalWrite(PORT_SW_INH_OUT, HIGH);    digitalWrite(PORT_SW_A_OUT, LOW);
            digitalWrite(PORT_SW_B_OUT, LOW);        digitalWrite(PORT_SW_C_OUT, LOW);
            reading(state_button);
            break;
        case 2: //100
            digitalWrite(PORT_SW_INH_OUT, HIGH);    digitalWrite(PORT_SW_A_OUT, HIGH);
            digitalWrite(PORT_SW_B_OUT, LOW);        digitalWrite(PORT_SW_C_OUT, LOW);
            reading(state_button);
            break;
        case 3: //010
            digitalWrite(PORT_SW_INH_OUT, HIGH);    digitalWrite(PORT_SW_A_OUT, LOW);
            digitalWrite(PORT_SW_B_OUT, HIGH);       digitalWrite(PORT_SW_C_OUT, LOW);
            reading(state_button);
            break;
        case 4: //001
            digitalWrite(PORT_SW_INH_OUT, HIGH);    digitalWrite(PORT_SW_A_OUT, LOW);
            digitalWrite(PORT_SW_B_OUT, LOW);        digitalWrite(PORT_SW_C_OUT, HIGH);
            reading(state_button);
            break;
        case 5: //110

```

```

digitalWrite(PORT_SW_INH_OUT, HIGH);    digitalWrite(PORT_SW_A_OUT, HIGH);
digitalWrite(PORT_SW_B_OUT, HIGH);    digitalWrite(PORT_SW_C_OUT, LOW);
reading(state_button);
break;
case 6:                                //101
digitalWrite(PORT_SW_INH_OUT, HIGH);    digitalWrite(PORT_SW_A_OUT, HIGH);
digitalWrite(PORT_SW_B_OUT, LOW);       digitalWrite(PORT_SW_C_OUT, HIGH);
reading(state_button);
break;
case 7:                                //011
digitalWrite(PORT_SW_INH_OUT, HIGH);    digitalWrite(PORT_SW_A_OUT, LOW);
digitalWrite(PORT_SW_B_OUT, HIGH);       digitalWrite(PORT_SW_C_OUT, HIGH);
reading(state_button);
break;
case 8:                                //111
digitalWrite(PORT_SW_INH_OUT, HIGH);    digitalWrite(PORT_SW_A_OUT, HIGH);
digitalWrite(PORT_SW_B_OUT, HIGH);       digitalWrite(PORT_SW_C_OUT, HIGH);
reading(state_button);
break;
default:
digitalWrite(PORT_SW_INH_OUT, LOW);
break;
}

}

```

Додаток 5. Лістинг програми для ПК

```

import processing.serial.*;

Serial myPort;

PFont myFont;

String inString;

int lf = 10;

int mouse_state = 0;

int state = 0;

Table table;

int var = 0;

long time = 0;

int num_iterations = 1000;    //set
int threshold_value = 50;    //set

void setup()
{
    size(800, 600);
    printArray(Serial.list());
    myPort = new Serial(this, Serial.list()[1], 115200);
    myPort.bufferUntil(lf);
}

void draw()
{
    cursor(ARROW); //ARROW, CROSS, HAND, MOVE, TEXT, or WAIT
    mouse_pressed();
    background(50);
    textSize(15);
    rect(50, 40, 40, 40); // xy ss
    text("1 ", 65, 65);
    rect(140, 40, 40, 40);
    text("2 ", 155, 65);
    rect(230, 40, 40, 40);
    text("3 ", 245, 65);
    rect(320, 40, 40, 40);
    text("4 ", 335, 65);
    rect(410, 40, 40, 40);
    text("5 ", 425, 65);

```

```

rect(500, 40, 40, 40);
text("6 ", 515, 65);
rect(590, 40, 40, 40);
text("7 ", 605, 65);
rect(680, 40, 40, 40);
text("8 ", 695, 65);

if (((mouseX >= 50) & (mouseX <=90)) & ((mouseY >= 40) & (mouseY <=80)))
{
  cursor(HAND);
  if ((mouse_state == 1) & (state == 0))
  {
    fill(153);
    rect(50, 40, 40, 40);
    myPort.write(49);      // Unicode(49) = 1;

    state = 1;
    //fill(153);
  }
} else
{
  noFill();
}
if (((mouseX >= 140) & (mouseX <=180)) & ((mouseY >= 40) & (mouseY <=80)))
{
  cursor(HAND);
  if ((mouse_state == 1) & (state == 0))
  {
    fill(153);
    rect(140, 40, 40, 40);
    myPort.write(50);
    state = 2;
  }
} else
{
  noFill();
}

```

```

}

if (((mouseX >= 230) & (mouseX <=270)) & ((mouseY >= 40) & (mouseY <=80)))
{
  cursor(HAND);
  if ((mouse_state == 1) & (state == 0))
  {
    fill(153);
    rect(230, 40, 40, 40);
    myPort.write(51);
    state = 3;
  }
} else
{
  noFill();
}

if (((mouseX >= 320) & (mouseX <=360)) & ((mouseY >= 40) & (mouseY <=80)))
{
  cursor(HAND);
  if ((mouse_state == 1) & (state == 0))
  {
    fill(153);
    rect(320, 40, 40, 40);
    myPort.write(52);
    state = 4;
  }
} else
{
  noFill();
}

if (((mouseX >= 410) & (mouseX <=450)) & ((mouseY >= 40) & (mouseY <=80)))
{
  cursor(HAND);
  if ((mouse_state == 1) & (state == 0))
  {

```

```

    fill(153);
    rect(410, 40, 40, 40);
    myPort.write(53);
    state = 5;
  }
} else
{
  noFill();
}

if (((mouseX >= 500) & (mouseX <=540)) & ((mouseY >= 40) & (mouseY <=80)))
{
  cursor(HAND);
  if ((mouse_state == 1) & (state == 0))
  {
    fill(153);
    rect(500, 40, 40, 40);
    myPort.write(54);
    state = 6;
  }
} else
{
  noFill();
}

if (((mouseX >= 590) & (mouseX <=630)) & ((mouseY >= 40) & (mouseY <=80)))
{
  cursor(HAND);
  if ((mouse_state == 1) & (state == 0))
  {
    fill(153);
    rect(590, 40, 40, 40);
    myPort.write(55);
    state = 7;
  }
} else

```



```

{
    noFill();
}

if (((mouseX >= 680) & (mouseX <=720)) & ((mouseY >= 40) & (mouseY <=80)))
{
    cursor(HAND);
    if ((mouse_state == 1) & (state == 0))
    {
        fill(153);
        rect(680, 40, 40, 40);
        myPort.write(56); //
        state = 8;
    }
} else
{
    noFill();
}

switch (state)
{

case 1:
    noFill();
    rect(50, 90, 670, 40); // xy ss
    text("MODE SELECTED 1 ", 300, 115);
    break;
case 2:
    noFill();
    rect(50, 90, 670, 40); // xy ss
    text("MODE SELECTED 2 ", 300, 115);
    break;
case 3:
    noFill();
    rect(50, 90, 670, 40); // xy ss
    text("MODE SELECTED 3 ", 300, 115);
    break;

```

```

case 4:
    noFill();
    rect(50, 90, 670, 40); // xy ss
    text("MODE SELECTED 4 ", 300, 115);
    break;
case 5:
    noFill();
    rect(50, 90, 670, 40); // xy ss
    text("MODE SELECTED 5 ", 300, 115);
    break;
case 6:
    noFill();
    rect(50, 90, 670, 40); // xy ss
    text("MODE SELECTED 6 ", 300, 115);
    break;
case 7:
    noFill();
    rect(50, 90, 670, 40); // xy ss
    text("MODE SELECTED 7 ", 300, 115);
    break;
case 8:
    noFill();
    rect(50, 90, 670, 40); // xy ss
    text("MODE SELECTED 8 ", 300, 115);
    break;
}
time = millis();
textSize(30);
text("received: " + inString, 20, 25);
created_table(var, time);
}

void serialEvent(Serial p)
{
    inString = p.readString();
}

```

```

void created_table(int var, long time)
{
    var = myPort.read();
    if (var > threshold_value)
    {
        text("Value " +var, 350, 250);
        table = new Table();

        table.addColumn("number");
        table.addColumn("Value");
        table.addColumn("Time");
        for (int a = 0; a <= num_iterations; a++)
        {
            TableRow newRow = table.addRow();
            table.setInt(a, "number", a);
            table.setInt(a, "Value", var);
            table.setLong(a, "Time", time);
            saveTable(table, "data/new.csv");
        }
    }
}

```

```

int mouse_pressed()
{
    if (mousePressed && (mouseButton == LEFT))
    {
        mouse_state = 1;
    } else
    {
        mouse_state = 0;
    }
    return mouse_state;
}

```

Додаток 6. Специфікація

№	Позначення	Найменування	К-сть	Примітка
	<i>U</i>	<u>Мікросхеми</u>	4	
1	<i>U1</i>	<i>Atmega328</i>	1	корпус QFP-32
2	<i>U2</i>	<i>AD8544AR</i>	1	корпус SOIC-14
3	<i>U3</i>	<i>7805</i>	1	корпус TO-220
4	<i>U4</i>	<i>CD4051BM</i>	1	корпус SOIC-16
5	<i>U5</i>	<i>LT1118CST-2.5</i>	1	корпус SOT223-4
	<i>R</i>	<u>Резистори</u>	22	
6	<i>R17</i>	<i>10 Ω, 1 % 0,125 W</i>	1	корпус 0805
7	<i>R16</i>	<i>20 Ω, 1 % 0,125 W</i>	1	корпус 0805
8	<i>R21, R2-3, R20, R5,</i>	<i>100 Ω, 1 % 0,125 W</i>	5	корпус 0805
9	<i>R6</i>	<i>200 Ω, 1 % 0,125 W</i>	1	корпус 0805
10	<i>R7</i>	<i>510 Ω, 1 % 0,125 W</i>	1	корпус 0805
11	<i>R8</i>	<i>820 Ω, 1 % 0,125 W</i>	1	корпус 0805
12	<i>R19</i>	<i>1 k Ω, 1 % 0,125 W</i>	1	
13	<i>R9</i>	<i>2 k Ω, 1 % 0,125 W</i>	1	корпус 0805
14	<i>R4, R13-15, R18, R22, R1</i>	<i>10 k Ω, 1 % 0,125 W</i>	7	корпус 0805
15	<i>R10</i>	<i>51 k Ω, 1 % 0,125 W</i>	1	корпус 0805
16	<i>R11</i>	<i>100 k Ω, 1 % 0,125 W</i>	1	корпус 0805
17	<i>R12</i>	<i>10 M Ω, 1 % 0,125 W</i>	1	корпус 0805
	<i>C</i>	<u>Конденсатори</u>	10	
18	<i>C1-2, C8-9</i>	<i>10 μF</i>	4	керамічний, корпус 1206
19	<i>C3-4</i>	<i>100μF</i>	2	електролітичний корпус 6.6x6.6h5.4
20	<i>C5-6</i>	<i>22 pF</i>	2	керамічний, корпус 1206
21	<i>C7, C10</i>	<i>15 pF</i>	2	керамічний, корпус 1206
	<i>Q</i>	<u>Транзистори</u>	2	
22	<i>Q1-2</i>	<i>IRFZ44S</i>	2	корпус TO263-3

		<u><i>Інше</i></u>		
<i>23</i>	<i>X1</i>	<i>HC49S кварц</i>	<i>1</i>	<i>корпус HC-49U</i>
<i>24</i>	<i>XP1-6</i>	<i>PLS монтажні виводи</i>	<i>6</i>	